



UNIL | Université de Lausanne

Faculté des géosciences et de l'environnement
Institut de politiques territoriales et d'environnement humain

Les symbioses agro-industrielles en Afrique de l'Ouest: évaluation du potentiel d'une nouvelle stratégie pour un développement durable

Thèse de doctorat

présentée à la Faculté des géosciences et de l'environnement de
l'Université de Lausanne, Suisse,
par

Pascale Schwab Castella

Ingénieure en Science des Matériaux, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse
de nationalité suisse et originaire de St-Blaise (NE)

pour l'obtention du grade de
Docteur ès Sciences en Géosciences et Environnement,
mention sciences de l'environnement

Composition du Jury:

Prof. Torsten Vennemann

Prof. Jean Ruegg

Prof. Suren Erkman

Prof. Hans-Rudolf Pfeifer

Dr. Isabelle Blanc-Sommereux

Dominique Bernard

Président du jury (colloque privé)

Président du jury (soutenance publique)

Directeur de thèse

Expert

Experte

Expert

Vice-doyen, FGSE, UNIL, Lausanne

Doyen, FGSE, UNIL, Lausanne

FGSE, UNIL, Lausanne

FGSE, UNIL, Lausanne

MINES Paris-Tech, Sophia-Antipolis, France

Ciments Lafarge, Paris, France

Lausanne, juillet 2011



UNIL | Université de Lausanne

Unicentre

CH-1015 Lausanne

<http://serval.unil.ch>

Year : 2011

Les symbioses agro-industrielles en Afrique de l'Ouest : évaluation du potentiel d'une nouvelle stratégie pour un développement durable

Pascale Schwab Castella

Pascale Schwab Castella, 2011, Les symbioses agro-industrielles en Afrique de l'Ouest :
évaluation du potentiel d'une nouvelle stratégie pour un développement durable

Originally published at : Thesis, University of Lausanne

Posted at the University of Lausanne Open Archive.
<http://serval.unil.ch>

Droits d'auteur

L'Université de Lausanne attire expressément l'attention des utilisateurs sur le fait que tous les documents publiés dans l'Archive SERVAL sont protégés par le droit d'auteur, conformément à la loi fédérale sur le droit d'auteur et les droits voisins (LDA). A ce titre, il est indispensable d'obtenir le consentement préalable de l'auteur et/ou de l'éditeur avant toute utilisation d'une oeuvre ou d'une partie d'une oeuvre ne relevant pas d'une utilisation à des fins personnelles au sens de la LDA (art. 19, al. 1 lettre a). A défaut, tout contrevenant s'expose aux sanctions prévues par cette loi. Nous déclinons toute responsabilité en la matière.

Copyright

The University of Lausanne expressly draws the attention of users to the fact that all documents published in the SERVAL Archive are protected by copyright in accordance with federal law on copyright and similar rights (LDA). Accordingly it is indispensable to obtain prior consent from the author and/or publisher before any use of a work or part of a work for purposes other than personal use within the meaning of LDA (art. 19, para. 1 letter a). Failure to do so will expose offenders to the sanctions laid down by this law. We accept no liability in this respect.



UNIL | Université de Lausanne
Faculté des géosciences et de l'environnement
bâtiment Amphipôle
CH-1015 Lausanne

IMPRIMATUR

Vu le rapport présenté par le jury d'examen, composé de

Président de la séance publique :	M. le Professeur Jean Rüegg
Président du colloque :	M. le Professeur Torsten Vennemann
Directeur de thèse :	M. le Professeur Suren Erkman
Expert interne :	M. le Professeur Hans-Ruedi Pfeifer
Expert externe :	Mme le Docteur Isabelle Blanc
Expert externe :	M. Dominique Bernard

Le Doyen de la Faculté des géosciences et de l'environnement autorise l'impression de la thèse de

Madame Pascale SCHWAB CASTELLA

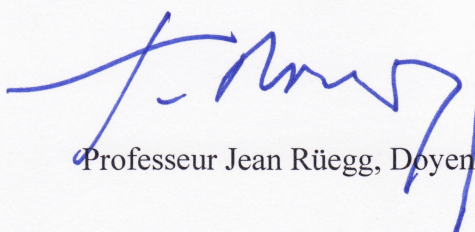
*Ingénieure en Science des Matériaux
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne*

intitulée

**LES SYMBIOSES AGRO-INDUSTRIELLES EN AFRIQUE DE L'OUEST :
EVALUATION DU POTENTIEL D'UNE NOUVELLE STRATEGIE POUR UN
DEVELOPPEMENT DURABLE**

Lausanne, le 1^{er} juillet 2011

Faculté des géosciences et de l'environnement



Professeur Jean Rüegg, Doyen

Table des matières

IMPRIMATUR	0
TABLE DES MATIERES	i
REMERCIEMENTS	ix
RESUME	xi
SUMMARY	xiii
GLOSSAIRE	xv
ACRONYMES	xix
AVANT-PROPOS	xxi
SCHEMA GENERAL DE LA THESE	xxix
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION	1
1.1. Introduction et constats.....	3
1.1.1. <i>Ecologie industrielle et pays en développement</i>	3
1.1.2. <i>Pauvreté en Afrique de l'Ouest</i>	4
1.1.3. <i>Développement et lutte contre la pauvreté</i>	5
1.1.4. <i>Développement durable et Ecologie Industrielle</i>	6
1.1.5. <i>Evaluation de la durabilité dans le contexte d'un pays en développement</i>	6
1.2. Objectif de cette thèse.....	7
1.3. Synthèse des questions de recherche	8
1.4. Structure du travail.....	8
1.5. Bibliographie	10
CHAPITRE 2 : CADRE. DEVELOPPEMENT DURABLE, AIDE AU DEVELOPPEMENT ET DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL EN AFRIQUE DE L'OUEST	11
2.1. Introduction	13
2.2. Développement durable	13
2.2.1. <i>Le développement durable, un cadre conceptuel</i>	13
2.2.2. <i>L'Ecologie Industrielle, un concept qui va dans le sens d'un développement durable</i> ...	15
2.2.3. <i>Evolution du Développement Durable</i>	16
2.2.4. <i>L'Indice de Développement Humain</i>	16
2.3. L'aide au développement, notions théoriques et histoire.....	17
2.3.1. <i>Définition de l'aide au développement</i>	17
2.3.2. <i>Les motivations et objectifs de l'aide au développement</i>	18
2.3.3. <i>L'assistance internationale de 1940 à 1950</i>	18
2.3.4. <i>L'assistance internationale de 1950 à 1980</i>	19
2.3.5. <i>L'assistance internationale de 1980 à aujourd'hui</i>	20
2.3.6. <i>L'aide privée des ONG de développement</i>	22
2.3.7. <i>La Chinafrique</i>	22
2.3.8. <i>NTIC pour le développement</i>	23

2.3.9. Mécanisme de développement propre du protocole de Kyoto	24
2.3.10. Green Growth de l'OCDE, stratégie pour une croissance verte.....	25
2.4. Echec de l'aide au développement.....	26
2.4.1. Les raisons de l'échec de l'aide publique au développement.....	27
2.5. Echec des stratégies politiques de développement économique en Afrique de l'Ouest (Burkina Faso)	29
2.5.1. Entretiens.....	29
2.5.2. Analyse des entretiens.....	31
2.6. Les entreprises, un potentiel pour le développement en Afrique de l'Ouest	35
2.6.1. Perspectives des Symbioses Agro-Industrielles.....	35
2.6.2. Création de partenariats.....	37
2.7. Conclusion	40
2.8. Bibliographie	40
CHAPITRE 3 : OUTILS DE MISE EN ŒUVRE ET D'EVALUATION DE LA DURABILITE	45
3.1. Introduction.....	47
3.2. L'Ecologie Industrielle.....	48
3.2.1. La nature comme modèle.....	48
3.2.2. Une approche systémique	49
3.2.3. Moyens d'action : Les Symbioses Industrielles.....	50
3.2.4. Moyens d'analyse.....	51
3.3. Symbiose Industrielle	51
3.3.1. Principes et éléments-clés.....	51
3.3.2. Mise en œuvre et méthodologies de détection	54
3.3.3. Objectifs et effets attendus.....	56
3.3.4. Les Symbioses Agro-Industrielles comme moyen d'action	57
3.3.5. Les Symbioses Agro-Industrielles comme outil de développement rural.....	57
3.3.6. Les Symbioses Agro-Industrielles, informations générales.....	58
3.4. Les Symbioses Industrielles dans les pays en voie de développement.....	59
3.4.1. Chine.....	59
3.4.2. Inde	61
3.4.3. Autres pays d'Asie.....	63
3.4.4. Amérique latine et Caraïbes.....	65
3.4.5. Afrique.....	67
3.4.6. Conclusions.....	71
3.5. Biocarburants – Matière d'échange pour les Symbioses Agro-Industrielles dans les pays en développement.....	72
3.5.1. Carburants de première, seconde et troisième génération	72
3.5.2. Biocarburants solides : la biomasse comme carburant.....	73
3.5.3. Impacts environnementaux	73
3.5.4. Production de biocarburants et changement d'utilisation du sol.....	76
3.5.5. Conclusion	76
3.6. Evaluation et suivi des impacts environnementaux des Synergies Industrielles.....	77
3.6.1. Revue des outils pour l'évaluation environnementale des Symbioses Industrielles.....	77

3.6.2. <i>Choix d'un outil d'évaluation environnementale</i>	78
3.7. Utilisation de l'ACV dans les pays en développement	79
3.7.1. <i>La recherche en ACV dans les pays en développement</i>	80
3.7.2. <i>Besoins concernant l'inventaire</i>	82
3.7.3. <i>Besoins concernant l'analyse des impacts</i>	82
3.7.4. <i>Besoins concernant la méthodologie et la pratique</i>	83
3.7.5. <i>Prochaines recherches pour l'ACV dans les pays en développement</i>	83
3.7.6. <i>Conclusions</i>	86
3.8. Evaluation des impacts sociaux selon la méthodologie de l'ACV.....	86
3.8.1. <i>Emergence d'un nouveau champ de recherche</i>	87
3.8.2. <i>Buts et objectifs des ACV sociales</i>	88
3.8.3. <i>Cadre et étapes de réalisation</i>	89
3.8.4. <i>Définitions des objectifs et du système</i>	89
3.8.5. <i>Impacts, indicateurs, catégories d'inventaire</i>	90
3.8.6. <i>Bases de données</i>	93
3.8.7. <i>Recherche actuelle en ACV sociale</i>	94
3.8.8. <i>Utilisation des ACV sociales pour l'évaluation de Symbioses Industrielles</i>	94
3.9. Outils d'évaluation du développement durable	96
3.9.1. <i>Cadre : Les principes de Bellagio</i>	97
3.9.2. <i>Les méthodologies d'évaluation de projets de développement</i>	98
3.9.3. <i>Les principes de la Roundtable on sustainable biofuels (RSB)</i>	98
3.9.4. <i>Evaluation de la durabilité par l'évaluation multicritère qualitative : méthode Hermione</i>	100
3.9.5. <i>Global Reporting Initiative</i>	102
3.9.6. <i>Méthodologies pour l'évaluation de la durabilité d'une Symbiose Industrielle</i>	103
3.10. Conclusions.....	104
3.11. Bibliographie	105
CHAPITRE 4 : ETUDE DE CAS D'UNE CIMENTERIE AU NIGERIA.....	119
4.1. Introduction	121
4.2. Contexte et objectifs	121
4.2.1. <i>Objectifs du projet d'AshakaCem</i>	121
4.2.2. <i>Contexte du Nigéria et de la région d'AshakaCem</i>	124
4.2.3. <i>Lafarge</i>	130
4.2.4. <i>Exploitation de cette étude de cas à des fins méthodologiques</i>	132
4.3. Planification et réalisation du projet d'AshakaCem.....	133
4.3.1. <i>Chronologie du projet</i>	133
4.3.2. <i>Analyse des flux de matières de la cimenterie</i>	135
4.3.3. <i>Analyse des flux de matière de la région et du secteur agricole</i>	142
4.3.4. <i>Propositions de synergies potentielles</i>	143
4.4. Objectifs et dimensionnement du projet de Symbiose Agro-Industrielle.....	144
4.4.1. <i>Objectifs de substitution d'énergie thermique</i>	145
4.4.2. <i>Objectifs de substitution d'énergie électrique</i>	146
4.4.3. <i>Agriculture et production d'énergie</i>	147

4.4.4. Réalisation de la première année pilote.....	151
4.5. Retour sur les objectifs de la synergie envisagée	155
4.5.1. Discussion sur le dimensionnement et le choix des plantes.....	156
4.5.2. Critiques à l'encontre du projet.....	158
4.6. Evaluation et suivi de projet.....	162
4.7. Conclusions	165
4.8. Bibliographie	165
CHAPITRE 5 : ANALYSE DU CYCLE DE VIE D'UNE SYMBIOSE AGRO-INDUSTRIELLE DE SUBSTITUTION	
ENERGETIQUE.....	169
5.1. Introduction.....	171
5.2. Définition des objectifs et du système.....	171
5.2.1. Objectif.....	171
5.2.2. Fonction et unité fonctionnelle.....	173
5.2.3. Scénarios et limites du système	173
5.2.4. Tableaux des données et de la qualité des données.....	178
5.3. Résultats d'inventaire.....	183
5.3.1. Bilan de l'eau consommée.....	183
5.3.2. Bilan de l'énergie primaire non renouvelable consommée.....	186
5.3.3. Bilan des émissions de dioxyde de carbone (CO ₂).....	187
5.4. Résultats d'analyse d'impacts	190
5.4.1. Occupation du sol	194
5.4.2. Changements climatiques.....	195
5.4.3. Ecotoxicité terrestre.....	198
5.4.4. Ecotoxicité aquatique.....	200
5.4.5. Résumé des indicateurs d'impacts	202
5.5. Interprétation.....	204
5.5.1. Interprétation des résultats d'analyse obtenus.....	204
5.5.2. Bases pour une réflexion plus poussée sur l'outil d'analyse.....	204
5.6. Conclusions	206
5.7. Bibliographie	207
CHAPITRE 6 : METHODOLOGIE POUR L'EVALUATION DE LA DURABILITE D'UN PROJET EN	
AFRIQUE DE L'OUEST	209
6.1. Introduction.....	211
6.2. Critiques à l'égard de l'ACV	211
6.2.1. Définition des objectifs et du système.....	213
6.2.2. Inventaire.....	214
6.2.3. Impacts.....	217
6.2.4. Méthode	220
6.2.5. Conclusion.....	224
6.3. Cadre méthodologique pour l'établissement d'une méthodologie d'évaluation adaptée aux pays en développement.....	225

6.4. Modification de l'ACV pour une évaluation dans les pays en développement.....	228
6.4.1. Résoudre les problèmes d'inventaire	229
6.4.2. Résoudre les problèmes d'analyse des impacts	231
6.5. Comptabilisation de l'énergie humaine	233
6.5.1. Revue de littérature.....	234
6.5.2. Energie alimentaire et énergie humaine.....	235
6.5.3. Calcul de l'énergie humaine par type de travail	238
6.5.4. Résultats pour notre étude	239
6.5.5. Limites.....	240
6.6. Résumé des modifications proposées pour l'ACV	241
6.6.1. Définition du système.....	241
6.6.2. Inventaire.....	241
6.6.3. Energie humaine.....	242
6.6.4. Impacts.....	242
6.6.5. Cadre socio-économique.....	243
6.7. Définition des critères pour une évaluation de la durabilité selon le nouveau cadre méthodologique.....	244
6.7.1. Etape 1 : Définition des besoins des parties prenantes et du cadre de l'analyse	245
6.7.2. Etape 2 : Définition des critères d'évaluation du projet	251
6.7.3. Etape 3 et 4 : Définition des indicateurs pour chaque critères et de leur grille d'évaluation.....	253
6.7.4. Etape 5 et 6 : Evaluation et correction de la méthodologie.....	263
6.8. Conclusion.....	264
6.9. Bibliographie	265

CHAPITRE 7: APPLICATION DE LA METHODOLOGIE D'EVALUATION DE LA DURABILITE A UNE ETUDE

DE CAS	269
7.1. Introduction	271
7.2. Evaluation des critères économiques	271
7.2.1. Critère E1 : Prix de l'énergie	271
7.2.2. Critère E2 : Marché.....	272
7.2.3. Critère E3 : Proportionnalité de la rémunération.....	272
7.2.4. Critère E4 : Valoriser les activités agricoles.....	272
7.3. Evaluation des critères socio-économiques.....	273
7.3.1. Critère S1 : Formation technique.....	273
7.3.2. Critère S2 : Respect de l'organisation sociale locale	273
7.3.3. Critère S3 : Sécurité alimentaire.....	273
7.3.4. Critère S4 : Associations d'agriculteurs.....	274
7.4. Evaluation des critères environnementaux	274
7.4.1. Modification du système évalué et des inventaires.....	274
7.4.2. Critère Env1 : Bilan des Gaz à Effet de Serre	276
7.4.3. Critère Env2 : Bilan énergétique total.....	277
7.4.4. Critère Env3 : Fertilité des sols	279
7.4.5. Critère Env4 : Ressources en eau	280

7.4.6. Critère Env5 : Santé humaine.....	283
7.4.7. Critère Env6 : Biodiversité.....	283
7.5. Présentation des résultats sous forme de tableau récapitulatif.....	284
7.6. Conclusion	286
7.7. Bibliographie	287
CHAPITRE 8 : IMPLEMENTATION DE SYMBIOSES AGRO-INDUSTRIELLES DANS UNE PERSPECTIVE DE DURABILITE	289
8.1 Introduction.....	291
8.2 Reproductibilité des Symbioses Agro-Industrielles en Afrique de l'Ouest du point de vue de l'entreprise.....	291
8.2.1 Un projet pilote.....	292
8.2.2 Conditions pour une reproduction	293
8.2.3 Freins.....	295
8.2.4 Facteurs de succès.....	298
8.2.5 Procédure générale.....	300
8.3 Symbioses Agro-Industrielles et développement.....	300
8.3.1 Perspectives pour le développement régional	300
8.3.2 Les Symbioses Industrielles et le mécanisme de développement propre du protocole de Kyoto	301
8.4 Reproductibilité du cadre méthodologique d'évaluation de la durabilité et de la méthodologie.....	301
8.4.1 Reproduction du cadre méthodologique.....	302
8.4.2 Réutilisation des critères d'évaluation et indicateurs.....	303
8.5 Conclusions	303
8.6 Bibliographie	304
CHAPITRE 9 : CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	305
9.1. Introduction	307
9.2. Résultats principaux de la thèse	307
9.2.1. Quels sont les enjeux et perspectives liés à la mise en place d'une Symbiose Agro-Industrielle en Afrique de l'Ouest?	307
9.2.2. Comment évaluer les impacts environnementaux d'une Symbiose Industrielle dans un pays en développement?.....	309
9.2.3. Quelle méthodologie utiliser pour évaluer la durabilité d'un projet de Symbiose Industrielle?.....	312
9.3. Perspectives.....	313
9.3.1. Les Symbioses Industrielles comme outil de développement	313
9.3.2. Adaptation de l'Analyse du Cycle de Vie au contexte des pays en développement	314
9.3.3. Généralisation du cadre méthodologique de cette thèse	316
9.4. Conclusion générale	316

ANNEXES	319
Annexe 1 : Compte-rendu des entretiens	321
Annexe 2 : Analyse du Cycle de vie – Etapes et structure.....	343
Annexe 3 : Analyse des flux de matière	345
Annexe 4 : Calcul du bilan de l'eau et du CO ₂ de la photosynthèse	349
Annexe 5 : Détails sur la méthode Impact 2002+	351
Annexe 6 : Les principes de Bellagio.....	371
Annexe 7 : Critères RSB	375
Bibliographie des annexes	377
CURRICULUM VITAE ET LISTE DES PUBLICATIONS ET CONFERENCES LIEES A LA RECHERCHE	379

Remerciements

Je tiens en premier lieu à adresser un grand merci au professeur Suren Erkman qui m'a témoigné sa confiance et m'a accompagnée sur ce chemin difficile de la thèse durant toutes ces années. Il m'a laissé beaucoup de liberté tout en stimulant mes choix et en valorisant mes compétences personnelles. Il m'a aidée, avec beaucoup de diplomatie, à acquérir de la maturité professionnelle.

Je voudrais également remercier le professeur Olivier Jolliet qui m'a offert la chance de développer mes compétences en Analyse du Cycle de Vie et de découvrir l'Ecologie Industrielle. J'ai beaucoup appris au sein de son groupe du GECOS à l'EPFL.

Je souhaite remercier chaleureusement Dominique Bernard, qui m'a offert la possibilité de connaître la vision d'un industriel sur la manière d'utiliser l'Ecologie Industrielle, et m'a permis de participer au lancement et au suivi du projet d'AshakaCem au Nigéria. Son enthousiasme et son réalisme, tout en diplomatie, m'ont permis de comprendre de manière très constructive le point de vue des industriels.

Pour le projet d'AshakaCem, je tiens à remercier Bob McQuillan de Lafarge et François Giraudy de Dagrif puis d'Eco-carbone qui m'ont permis de suivre le projet tout au long de ces années, malgré leurs emplois du temps très chargés.

Un merci tout particulier à Tourane Corbière-Nicollier, Myriam Saadé, Nathalie Chèvre et Isabelle Blanc : votre accompagnement et/ou encadrement de qualité m'a aidée à clarifier mes idées et à améliorer mon travail lorsque je rencontrais des difficultés ou des doutes.

Je souhaite remercier les étudiants dont le travail a alimenté ma recherche : Florence Bétrisey pour sa recherche sur les outils d'évaluation de la fertilité du sol, Céline Zurbriggen pour celle sur l'aide au développement en Afrique de l'Ouest et Yann Demont pour celle sur l'énergie humaine.

Je remercie également mes collègues ou anciens collègues de l'IPTEH : Guillaume Massard, Nelly Niwa, Théodore Besson, Frédéric Piguet, Augustin Fragnière, Manuela Fernandez, Joëlle Salomon-Cavin, Leah Tillemans, Gérald Hess, Julia Steinberger, Basile Schaeli, Annelore Kleijer, Verena Schaeffer, et tous ceux de passage qui ont partagé mes pauses quelques mois. Pour toutes les discussions, remises en questions, propositions, remarques, prises de tête, et travail commun qui ont alimenté mes réflexions et stimulé mon travail : un grand merci pour votre amitié!

Mes remerciements vont également à Carole Oppliger, notre fantastique secrétaire, qui sait être dure à cuire quand cela est nécessaire, défendre notre os contre une administration parfois un peu trop rigide et en même temps être très dévouée pour nous aider. C'est une grande chance de t'avoir eue à mes côtés toutes ces années.

Je remercie également mes collègues de l'Unité de Développement Durable à l'Etat de Vaud, Valérie Bronchi-Brugger, Viviane Keller et Gaël Gillibert, ainsi que Danielle Coppex et Michel Rubattel qui m'ont accordé leur confiance, ont supporté ma présence partielle pendant plusieurs mois et m'ont témoigné d'un soutien lors des périodes difficiles.

Je souhaite remercier les relecteurs de cette thèse, pour leur disponibilité, leur vision neutre et nouvelle et leurs remarques : Jérôme Castella, Cyril Castella, Lysianne Follonier Castella, Thérèse Schwab, Valérie Bronchi-Brugger, Gabrielle Schwab Rouge et Nicolas Rouge.

Je souhaite également adresser un immense merci à mes amies pour leur soutien durant toutes ces années, leurs encouragements et les soirées-filles détente : Marie De Cock, Camille Plessis, Tamara Janser, Catherine Suter Gerhard, Laurence Krpoun, Edwige Dormond, Audrey Delachaux, Manon Blouin, Emma Frejinger, Lydie Wiederrecht, Verena Gotthardt, Stéphanie Raetz, Dominique Maire, et toutes celles que j'oublie...

Je tiens à remercier mes parents, Jean-Claude et Thérèse Schwab, qui ont éveillé en moi cette sensibilité au développement durable et m'ont toujours soutenue dans mes choix, sans me juger mais en me remettant en question. Cette curiosité au sujet de mon travail a été l'occasion de nombreuses et très riches discussions.

Je souhaite remercier mes frères et sœurs Emmanuel, Myriam, Anne-Claire et Gaby, belle-soeur et beaux-frères Fabienne, Laurent, Guy et Nicolas et mes parents pour l'environnement stimulant dans lequel ils m'ont permis de grandir, où remise en question est synonyme de maturation, et où les débats sont sources d'élargissement de nos points de vue et d'ouverture.

Je remercie par ailleurs, ma famille, belle-famille, mes amis ainsi que les éducatrices et la directrice de la Nursery du Polychinelle pour leur soutien attentionné dans les périodes difficiles de maladie que nous avons vécu dernièrement.

Je souhaite terminer ces remerciements par un merci tout particulier à mon fils Valentin et à mon mari Jérôme Castella. Valentin, te voir grandir me remplit de bonheur et de fierté. Ton arrivée dans ma vie a relativisé l'importance de beaucoup de choses, et m'a stimulée à une meilleure concentration dans mes temps de travail.

Jérôme, je te remercie pour ton soutien et ta patience. Ton aide aussi bien logistique que morale a été très précieuse pour moi, et m'a permis de concentrer mon énergie sur ma thèse lorsque c'était nécessaire.

Même si il m'est parfois difficile de concilier engagement professionnel et rôle de maman, je prends beaucoup de plaisir dans ces deux activités et vous y contribuez tous les deux. Merci!

Merci encore à toutes les personnes que j'oublie ici, mais qui ont participé au succès de cette thèse.

Résumé

Cette thèse traite de l'utilisation des concepts de Symbiose Industrielle dans les pays en développement et étudie le potentiel de cette stratégie pour stimuler un développement régional durable dans les zones rurales d'Afrique de l'Ouest. En particulier, lorsqu'une Symbiose Industrielle est instaurée entre une usine et sa population alentour, des outils d'évaluation sont nécessaires pour garantir que le projet permette d'atteindre un réel développement durable. Les outils existants, développés dans les pays industrialisés, ne sont cependant pas complètement adaptés pour l'évaluation de projets dans les pays en développement. En effet, les outils sont porteurs d'hypothèses implicites propres au contexte socio-économique dans lequel ils ont été conçus.

L'objectif de cette thèse est de développer un cadre méthodologique pour l'évaluation de la durabilité de projets de Symbiose Industrielle dans les pays en développement.

Pour ce faire, je m'appuie sur une étude de cas de la mise en place d'une Symbiose Industrielle au nord du Nigéria, à laquelle j'ai participé en tant qu'observatrice dès 2007. AshakaCem, une usine productrice de ciment du groupe Lafarge, doit faire face à de nombreuses tensions avec la population rurale alentour. L'entreprise a donc décidé d'adopter une nouvelle méthode inspirée des concepts de Symbiose Industrielle.

Le projet consiste à remplacer jusqu'à 10% du carburant fossile utilisé pour la cuisson de la matière crue (calcaire et additifs) par de la biomasse produite par les paysans locaux. Pour ne pas compromettre la fragile sécurité alimentaire régionale, des techniques de lutte contre l'érosion et de fertilisation naturelle des sols sont enseignées aux paysans, qui peuvent ainsi utiliser la culture de biomasse pour améliorer leurs cultures vivrières. A travers cette Symbiose Industrielle, l'entreprise poursuit des objectifs sociaux (poser les bases nécessaires à un développement régional), mais également environnementaux (réduire ses émissions de CO₂ globales) et économiques (réduire ses coûts énergétiques). Elle s'ancre ainsi dans une perspective de développement durable qui est conditionnelle à la réalisation du projet.

A travers l'observation de cette Symbiose et par la connaissance des outils existants je constate qu'une évaluation de la durabilité de projets dans les pays en développement nécessite l'utilisation de critères d'évaluation propres à chaque projet. En effet, dans ce contexte, l'emploi de critères génériques apporte une évaluation trop éloignée des besoins et de la réalité locale. C'est pourquoi, en m'inspirant des outils internationalement reconnus comme l'Analyse du Cycle de Vie ou la Global Reporting Initiative, je définis dans cette thèse un cadre méthodologique qui peut, lui, être identique pour tous les projets.

Cette stratégie suit six étapes, qui se réalisent de manière itérative pour permettre une auto-amélioration de la méthodologie d'évaluation et du projet lui-même. Au cours de ces étapes, les besoins et objectifs en termes sociaux, économiques et environnementaux des différents acteurs sont déterminés, puis regroupés, hiérarchisés et formulés sous forme de critères à évaluer. Des indicateurs quantitatifs ou qualitatifs sont ensuite définis pour chacun de ces

critères. Une des spécificités de cette stratégie est de définir une échelle d'évaluation en cinq graduations, identique pour chaque indicateur, témoignant d'un objectif totalement atteint (++) ou pas du tout atteint (--).

L'application de ce cadre méthodologique à la Symbiose nigériane a permis de déterminer quatre critères économiques, quatre critères socio-économiques et six critères environnementaux à évaluer. Pour les caractériser, 22 indicateurs ont été définis. L'évaluation de ces indicateurs a permis de montrer que le projet élaboré atteint les objectifs de durabilité fixés pour la majorité des critères. Quatre indicateurs ont un résultat neutre (0), et un cinquième montre qu'un critère n'est pas atteint (--). Ces résultats s'expliquent par le fait que le projet n'en est encore qu'à sa phase pilote et n'a donc pas encore atteint la taille et la diffusion optimales. Un suivi sur plusieurs années permettra de garantir que ces manques seront comblés.

Le cadre méthodologique que j'ai développé dans cette thèse est un outil d'évaluation participatif qui pourra être utilisé dans un contexte plus large que celui des pays en développement. Son caractère générique en fait un très bon outil pour la définition de critères et indicateurs de suivi de projet en terme de développement durable.

Summary

This thesis examines the use of industrial symbiosis in developing countries and studies its potential to stimulate sustainable regional development in rural areas across Western Africa. In particular, when industrial symbiosis is instituted between a factory and the surrounding population, evaluation tools are required to ensure the project achieves truly sustainable development. Existing tools developed in industrialized countries are not entirely suited to assessing projects in developing countries. Indeed, the implicit hypotheses behind such tools reflect the socioeconomic context in which they were designed.

The goal of this thesis is to develop a methodological framework for evaluating the sustainability of industrial symbiosis projects in developing countries.

To accomplish this, I followed a case study about the implementation of industrial symbiosis in northern Nigeria by participating as an observer since 2007. AshakaCem, a cement works of Lafarge group, must confront many issues associated with violence committed by the local rural population. Thus, the company decided to adopt a new approach inspired by the concepts of industrial symbiosis.

The project involves replacing up to 10% of the fossil fuel used to heat limestone with biomass produced by local farmers. To avoid jeopardizing the fragile security of regional food supplies, farmers are taught ways to combat erosion and naturally fertilize the soil. They can then use biomass cultivation to improve their subsistence crops. Through this industrial symbiosis, AshakaCem follows social objectives (to lay the necessary foundations for regional development), but also environmental ones (to reduce its overall CO₂ emissions) and economical ones (to reduce its energy costs). The company is firmly rooted in a view of sustainable development that is conditional upon the project's execution.

By observing this symbiosis and by being familiar with existing tools, I note that assessing the sustainability of projects in developing countries requires using evaluation criteria that are specific to each project. Indeed, using generic criteria results in an assessment that is too far removed from what is needed and from the local reality. Thus, by drawing inspiration from such internationally known tools as Life Cycle Analysis and the Global Reporting Initiative, I define a generic methodological framework for the participative establishment of an evaluation methodology specific to each project.

The strategy follows six phases that are fulfilled iteratively so as to improve the evaluation methodology and the project itself as it moves forward. During these phases, the social, economic, and environmental needs and objectives of the stakeholders are identified, grouped, ranked, and expressed as criteria for evaluation. Quantitative or qualitative indicators are then defined for each of these criteria. One of the characteristics of this strategy is to define a five-point evaluation scale, the same for each indicator, to reflect a goal that was completely reached (++) or not reached at all (--).

Applying the methodological framework to the Nigerian symbiosis yielded four economic criteria, four socioeconomic criteria, and six environmental criteria to assess. A total of 22 indicators were defined to characterize the criteria. Evaluating these indicators made it possible to show that the project meets the sustainability goals set for the majority of criteria. Four indicators had a neutral result (0); a fifth showed that one criterion had not been met (--). These results can be explained by the fact that the project is still only in its pilot phase and, therefore, still has not reached its optimum size and scope. Following up over several years will make it possible to ensure these gaps will be filled.

The methodological framework presented in this thesis is a highly effective tool that can be used in a broader context than developing countries. Its generic nature makes it a very good tool for defining criteria and follow-up indicators for sustainable development.

Glossaire

Allocation

Lorsqu'un processus industriel est source de plusieurs coproduits, il n'est pas évident d'établir l'inventaire des émissions et consommations propres à un seul de ces produits. En effet, il n'est parfois pas possible de séparer celles qui lui sont attribuables directement. Une allocation est donc nécessaire, ou en d'autres termes l'affectation d'une partie de ces consommations et émissions au cycle de vie de ce produit. Cette allocation induit une part de subjectivité à l'inventaire qui peut être réduite par une grande transparence des règles d'allocation utilisées. La norme ISO 14044 définit une priorité des règles d'allocation.

En premier lieu, si une relation physique existe entre les coproduits, la répartition des consommations et émissions doit refléter cette relation. Cela peut par exemple être une relation massique ou volumique. Ainsi par exemple, si le processus résulte en 90kg du produit 1 et 10kg du produit 2, 90% des émissions pourront être attribuées au produit 1, et 10% au produit 2.

Dans le cas de coproduits ayant une valeur marchande très différente (par exemple un produit tel que le blé et un déchet tel que la paille), il peut être adapté d'utiliser une répartition monétaire, qui est plus représentative de la valeur des deux coproduits.

La règle d'allocation utilisée aura donc des conséquences importantes sur l'inventaire des coproduits.

Référence principale : ISO (2006). Norme ISO 14040 : 2006 (F), Management environnemental - analyse du cycle de vie - principes et cadre. Genève, Organisation Internationale de Normalisation: 23

Clinkerisation

Réaction chimique à haute température (1450°C) du calcaire (CaCO₃) et de silicates d'alumine qui se transforment en chaux (CaO) en libérant du CO₂, puis en clinker (ou silicates et aluminates de calcium). Le clinker est ensuite broyé et mélangé à quelques additifs pour en faire du ciment.

Culture de rente

Une culture de rente est une culture dont les produits sont destinés à être vendus, afin que le paysan puisse avoir de l'argent liquide pour toute l'année : soins médicaux, écolage des enfants, etc. Le coton, l'arachide ou le sésame sont des exemples de culture de rente.

Culture vivrière

Une culture vivrière est une culture destinée à produire de la nourriture pour celui qui la cultive. Il s'agit en général de céréales.

Dagris

Dagris (pour Développement des Agro-Industries du Sud) était anciennement la Compagnie française pour le développement des fibres textiles (CFDT). Elle a été privatisée en février 2008, et est contrôlée par le consortium Geocoton, détenu à 51% par Advens (commerce des denrées alimentaires en Afrique de l'Ouest et du Centre) et 49% par la CMA CGM (transport maritime conteneurisé). Cette privatisation a signé la fin d'une grande partie de ses activités agronomiques en Afrique de l'Ouest.

Energie primaire

Energie contenue dans les vecteurs énergétiques à leur extraction de l'environnement. C'est-à-dire, l'énergie finale à laquelle on additionne l'énergie nécessaire pour extraire, raffiner, transformer et transporter cette énergie jusqu'à l'utilisateur final.

Référence : Jolliet, O., Saadé, M. and Crettaz, P. (2005). Analyse de cycle de vie comprendre et réaliser un écobilan. 242 p.p Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes.

Energie finale

Energie mise à disposition et achetée par l'utilisateur.

Energie utile

Energie effectivement utilisée par le consommateur, en tenant compte de l'efficacité énergétique des appareils.

Gaz à effet de serre

Les gaz à effet de serre sont des composants gazeux de l'atmosphère qui contribuent à l'effet de serre. Les gaz à effet de serre naturels sont la vapeur d'eau (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (N₂O) et l'ozone (O₃). Les gaz à effet de serre industriels incluent les gaz précédents, auxquels s'ajoutent des gaz fluorés comme les hydrochlorofluorocarbures (HCFC), les chlorofluorocarbures (CFC), ou l'hexafluorure de soufre (SF₆).

L'augmentation des émissions de gaz à effet de serre à la suite d'activités humaines est due aux causes suivantes (liste non exhaustive):

- CO₂ = combustion de carburants fossiles (chauffage, transport, industrie), production de ciment, déforestation.
- CH₄ = élevage de bovins et ovins, agriculture (rizières) et décharges.
- N₂O = élevage et dégradation d'engrais azotés.
- HFC = réfrigération, climatisation, aérosols.
- PFC = fabrication de semi-conducteurs, solvants, fluides caloporteurs.

- SF₆ = isolants de lignes à haute tension et de câbles souterrains.
- HCFC et CFC = réfrigération, plastique expansé.

Les gaz à effet de serre sont les principaux facteurs du réchauffement climatique. Le potentiel de réchauffement climatique de chacun de ces gaz est rapporté à l'effet du CO₂ après 20 ans, 100 ans ou 500 ans, que l'on nomme GWP20, GWP100 et GWP500. Le GIEC publie la liste de ces facteurs et les met à jour.

Gaz à effet de serre	Potentiel de réchauffement climatique après 100 ans (GWP100)
CO ₂ – gaz carbonique	1
CH ₄ – méthane	25
N ₂ O – oxyde nitreux	298
HFC – Hydrofluorocarbones	140 à 11'700
PFC – Hydrocarbures perfluorés	6'500 à 9'200
SF ₆ – Hexafluorure de soufre	22'800
CFC, HCFC – Chlorofluorocarbures	Plus de 10'000

Référence : GIEC (2007). *Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* Genève, Suisse.

IDH – Indice de Développement Humain

L'indice de Développement Humain est un indicateur calculé chaque année depuis 1990 par le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) pour chacun des pays du Monde.

Cet indicateur a pour objectif de représenter pour chaque pays le niveau de développement humain. Il inclut des évaluations statistiques sur l'espérance de vie et la santé, sur l'éducation et sur le niveau de vie ou le pouvoir d'achat.

Comme tous les indicateurs, l'IDH possède le désavantage de n'être qu'une représentation réductrice de la réalité. En effet, regrouper en un seul chiffre des informations aussi différentes implique par essence une grande part de subjectivité dans la pondération des différents éléments. De plus l'IDH est une moyenne nationale. Il ne dit ainsi rien sur les disparités parmi la population et les écarts régionaux par exemple. L'IDH possède cependant le grand avantage d'être mondialement reconnu et d'évaluer autant des aspects économiques que sociaux.

Référence (site internet avec les valeurs actuelles) : <http://hdr.undp.org/fr/statistiques/idh/>

LPFO

Cet acronyme signifie "Low Pour Fuel Oil". Le LPFO est, comme le coke de pétrole ou autres brais haute viscosité, un sous-produit du raffinage du pétrole, type résidu sous vide. L'appellation LPFO est commune au Nigéria, mais d'autres brais haute viscosité sont

produits dans le monde. La qualité dépend essentiellement du brut d'origine. S'agissant d'un sous-produit du raffinage, il concentre les métaux lourds et les polyaromatiques contenus dans le brut. On trouve très peu d'informations à ce sujet, certainement à cause de son statut de résidu, qui en fait un produit de qualité, constitution chimique et pouvoir calorifique variables.

PCI – pouvoir calorifique inférieur

Le pouvoir calorifique correspond à l'énergie dégagée sous forme de chaleur lors de la combustion d'un carburant avec de l'oxygène.

Le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) du combustible représente l'énergie produite par la combustion complète d'un kilogramme de combustible (ou 1m³ pour le gaz), sans tenir compte de la chaleur latente dans la vapeur d'eau. Le PCI sert de valeur de référence pour tous les combustibles.

Pays en voie de développement (PVD)

La notion de "pays en voie de développement" est une notion qui suscite de nombreuses controverses. C'est une notion très vague qui inclut un très grand nombre de pays, et qui inspire une vision très négative. Pays du Tiers-Monde, Pays sous-développés, Pays émergents sont des notions synonymes ou proches. Toutes ces dénominations insistent sur une idée de séparation du Monde en deux parties hiérarchisées : le Monde développé, industrialisé, et de l'autre côté le Monde "en développement".

Il n'existe malheureusement pas de dénomination moins connotée pour parler des pays où l'économie est largement informelle, et où l'Etat et la structure étatique sont souvent peu présentes.

Dans le cadre de ce travail de thèse, la notion de Pays en voie de développement englobe tous les pays qui ne sont pas industrialisés, et plus précisément ceux qui ne possèdent pas de structure sociale et économique pour l'ensemble de la population. La notion utilisée ici est donc volontairement assez vague et reflète plus d'une vision générale que d'une vision précise. La liste issue de l'IDH peut ainsi être une référence.

Cela concerne ainsi la majorité des pays d'Afrique, ceux d'Amérique Latine, mais également ceux d'Europe de l'Est et une partie des pays Asiatiques. Les pays comme le Brésil, la Chine et l'Inde sont généralement considérés comme des pays émergents, qui se distinguent des autres pays en développement par leur taux d'industrialisation qui a rapidement augmenté.

Autant l'IDH que la dénomination "pays en voie de développement", sous-entendent que tous les pays sont par essence amenés à se développer, un jour ou l'autre.

Acronymes

ACV	Analyse du Cycle de Vie (en anglais : LCA, Life Cycle Assessment)
ACVs	Analyse du Cycle de Vie Sociale
AFM	Analyse des flux de matières (en anglais : MFA, Material Flow Analysis)
APD	Aide publique au développement
bdd	Base de données
BIT	Bureau International du Travail
BM	Banque Mondiale
CO ₂	Gaz carbonique. Voir "Gaz à effet de serre" dans le glossaire
CSI	Cement Sustainability Initiative – Initiative des producteurs de ciment pour le développement durable
DALY	Disability Adjusted Life Years – Nombre d'années de vie perdues pour cause de décès prématuré ou de maladie. Unité de mesure des effets sur la santé humaine
EI	Ecologie Industrielle
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations – Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FMI	Fonds Monétaire International
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC en anglais)
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH – Coopération Technique Allemande
GWP100	Global Warming Potential after 100 years – Potentiel de réchauffement climatique après 100 ans. Unité : CO ₂ -équivalent
HCFC	Hydrochlorofluorocarbones. Voir "Gaz à effet de serre" dans le glossaire
HFC	Hydrofluorocarbones. Voir "Gaz à effet de serre" dans le glossaire
IDH	Indice de développement humain
LPFO	Low Pour Fuel Oil
MDP	Mécanisme de Développement Propre du protocole de Kyoto
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Economiques
OMD	Objectifs du Millénaire pour le Développement
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONG	Organisation non gouvernementale
PAM	Programme Alimentaire Mondial
PAS	Programme d'ajustement structurel

PCI	Pouvoir calorifique inférieur
PNB	Produit national brut
PVD	Pays en voie de développement
RSE	Responsabilité Sociétale d'Entreprise
SCV	Semis sous couvert végétal
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry – Société de Toxicologie et de Chimie de l'Environnement
SI	Symbiose Industrielle
UNEP-PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development – Conseil mondial des affaires pour le développement durable

Avant-propos

J'ai débuté ce projet de doctorat en fin 2005. Mon objectif initial était de m'intéresser aux Symbioses Agro-Industrielles et à leur utilisation dans les pays en développement, de manière très large et d'un point de vue technique. L'idée était d'identifier les processus favorisant l'utilisation des concepts d'Ecologie Industrielle et en particulier des Symbioses Agro-Industrielles, dans ces pays non industrialisés, en vue de montrer qu'il y est tout à fait possible de prendre en compte les questions environnementales, et que cela peut même être intéressant financièrement.

A cette fin, j'avais pré-sélectionné deux secteurs industriels potentiellement porteurs : la production de coton et le ciment. J'avais également choisi d'analyser le potentiel de l'Ecologie Industrielle comme stratégie de gestion environnementale et de planification économique régionale à plusieurs échelles :

- A l'échelle **d'une usine**, en me basant sur le projet pilote en cours de développement de l'usine de ciment AshakaCem au Nigéria.
- A l'échelle **d'une filière**, en me basant sur l'expérience existante et à mettre en place du secteur cotonnier au Sénégal, à travers l'entreprise Dagrif, partenaire français des usines d'égrenage qui a mis en place une stratégie intégrée de la production à l'égrenage.
- A l'échelle **d'un pays**, en me basant sur une enquête que je souhaitais mener auprès des ministères et grands organismes de développement au Burkina Faso, afin d'identifier les stratégies de développement économique et industriel de ce pays et d'estimer l'intérêt que pourrait représenter l'Ecologie Industrielle dans cette optique.

Ces trois parties ont donc évolué séparément, en fonction des partenaires de travail et de l'évolution des projets en question. J'ai rapidement laissé de côté la partie sur l'Ecologie Industrielle comme stratégie d'une filière au Sénégal afin de pouvoir me concentrer sur l'expérience en cours de réalisation autour d'une usine de Lafarge au Nigéria.

0.1. Le projet de Lafarge au Nigéria

En 2006, les premières idées de Symbiose Industrielle ont germé lors de discussions informelles entre différents acteurs industriels dont Reynald Evangelista de Dagrif et Dominique Bernard du groupe cimentier Lafarge. Le projet, qui s'est précisé au cours des discussions suivantes et des partenaires potentiels contactés, était de mettre en place une nouvelle stratégie basée sur l'Ecologie Industrielle pour son usine d'AshakaCem, située dans une région très rurale du Nord du Nigéria. Alors récemment acquise par Lafarge¹, cette usine est régulièrement confrontée à des violences de la part de la population locale. En effet, cette dernière étant très pauvre, il est courant qu'elle vienne détruire des infrastructures pour en prendre les matériaux ou pour exiger une aide de la part de l'usine. Par ailleurs, étant située loin des sources d'énergies produites au Sud du pays, et les infrastructures routières et la sécurité étant très mauvaises, l'usine doit régulièrement faire face à des problèmes d'approvisionnement énergétique.

¹ Elle appartenait précédemment au groupe anglais Blue Circle qui a été racheté par Lafarge en 2001.

Lafarge a donc vu dans cette situation que l'Ecologie Industrielle apporterait une stratégie très intéressante pour résoudre ces deux importants problèmes. En effet, en créant une Symbiose Agro-Industrielle entre la population locale et l'usine, Lafarge serait en mesure de diversifier ses sources d'énergie et ainsi sécuriser son approvisionnement, tout en offrant une source de revenus à la population locale, ce qui pourrait lui permettre de se développer et réduire son animosité à l'encontre de l'usine.

J'ai donc participé à la première mission prospective en janvier 2007, dont le but était de sonder les besoins et de faire une proposition de projet. J'ai ainsi accompagné François Giraudy, agronome, et Christophe Blavot, ingénieur en écologie industrielle, sur le terrain à l'usine d'AshakaCem afin de déterminer les besoins de l'usine et de la population locale et de définir les termes du projet à réaliser. Mon rôle y était d'observer la stratégie utilisée, et les processus mis en place afin de comprendre comment les concepts d'Ecologie Industrielle sont employés dans un tel contexte.

De ce projet, j'ai identifié deux lignes directrices qui forment le cœur de mon travail de doctorat. La première concerne l'étude du potentiel des Symbioses Agro-Industrielles pour le développement des zones rurales d'Afrique de l'Ouest. La deuxième concerne la nécessité d'évaluer les impacts environnementaux de la symbiose créée afin de s'assurer qu'elle permet effectivement de les réduire, et de mener une réflexion sur la méthodologie d'évaluation.

Au cours du travail, ce deuxième point est finalement devenu le point central, avec un aboutissement important : la définition d'un cadre méthodologique pour l'évaluation de la durabilité de projets dans les pays en développement.

0.2. Potentiel des Symbioses Agro-Industrielles pour le développement

Comme d'autres auteurs, j'ai constaté un certain échec des politiques de développement mises en place en Afrique de l'Ouest depuis les années 1960. Les stratégies basées sur le développement des infrastructures dans les années 1960, puis de l'industrie dans les années 1970, puis l'utilisation de méthodes participatives, les microcrédits ou l'approche genre dans les années 1980 et 1990, et même les objectifs du millénaire de l'ONU définis dans les années 2000, aucune de ces stratégies n'a permis un réel développement de l'Afrique de l'Ouest.

Par ailleurs, comme l'ont montré les enquêtes que j'ai effectuées au Burkina Faso (voir le chapitre 2), les populations rurales d'Afrique de l'Ouest ne peuvent pas attendre de leur gouvernement qu'il établisse une réelle stratégie de développement économique qui permette à l'ensemble de la population d'élever son niveau de vie. En effet, si la population se développait, les élites de ces pays perdraient une grande partie du soutien financier international qu'elles reçoivent et qui permet aux dirigeants de vivre.

Pourtant, autant pour les gouvernements que pour la population pauvre et majoritaire de ces pays, il est urgent de trouver une solution pour lutter contre l'exode rural. Les causes principales de celui-ci sont le manque de perspectives qu'offrent les villages pour la population jeune, le manque de possibilités de commerce et d'entreprise, et la misère.

Dans ce contexte, je considère que la création de Symbioses Agro-Industrielles pourrait être une stratégie tout à fait adaptée pour dynamiser les économies locales et rurales, et initier un développement autocentré, c'est-à-dire un développement dont les acteurs sont les bénéficiaires eux-mêmes.

Ainsi, les raisons d'utiliser les Symbioses Industrielles ne sont plus leur perspective environnementale, mais bien plus les perspectives sociales qu'elles apportent par la création d'un nouveau lien social entre des partenaires qui n'avaient pas d'occasion d'être en relation.

Je crois fermement qu'en offrant aux gens la possibilité de se parler, de nombreuses tensions, revendications et besoins peuvent être exprimés et des solutions favorables à l'ensemble des partenaires peuvent être trouvées. Ce n'est pas la garantie que tous les problèmes seront résolus, mais une nouvelle porte ouverte, une possibilité offerte.

L'utilisation de Symbioses Agro-Industrielles pourrait ainsi permettre de dépasser certaines des limites des politiques employées jusque là et de favoriser un développement autocentré, local et participatif; un développement régional durable, dans sa perception sociale, économique et environnementale.

0.3. La fin d'une étape

Un retour sur ces années de doctorat me permet de constater l'ampleur du travail réalisé. Pour qu'il soit possible, j'ai entamé un lent processus de maturation personnelle. Il m'a fallu laisser derrière moi de nombreuses idées préconçues sur le monde industriel, sur les pays en développement, sur l'aide au développement, sur le développement durable, sur les biocarburants, sur le rôle que nous pouvons jouer en tant que représentants de la partie favorisée du monde pour rétablir une équité au sein de l'humanité, etc.

Ce que j'attends du temps qui passe et de ma vie d'être humain est d'acquérir un peu plus de sagesse en mûrissant, ainsi qu'une plus grande connaissance. Je crois que ce travail a initié en moi une lente métamorphose, et son aboutissement dans ce manuscrit est une réalisation dont je suis fier. Ce processus de maturation n'est bien sûr pas terminé et va continuer son travail en moi.

La pierre que j'apporte à la construction de la Connaissance Universelle peut sembler petite au vu de l'ampleur et de la complexité de ce qu'il reste à découvrir.

La recherche de l'utilité de mon travail a été au centre de mes préoccupations tout au long de ces années. Je peux dire avec fierté que le cadre méthodologique pour l'évaluation de la durabilité de projet dans les pays en développement que j'ai développé dans ce doctorat est un bel aboutissement. C'est une contribution sur laquelle de nombreux autres travaux

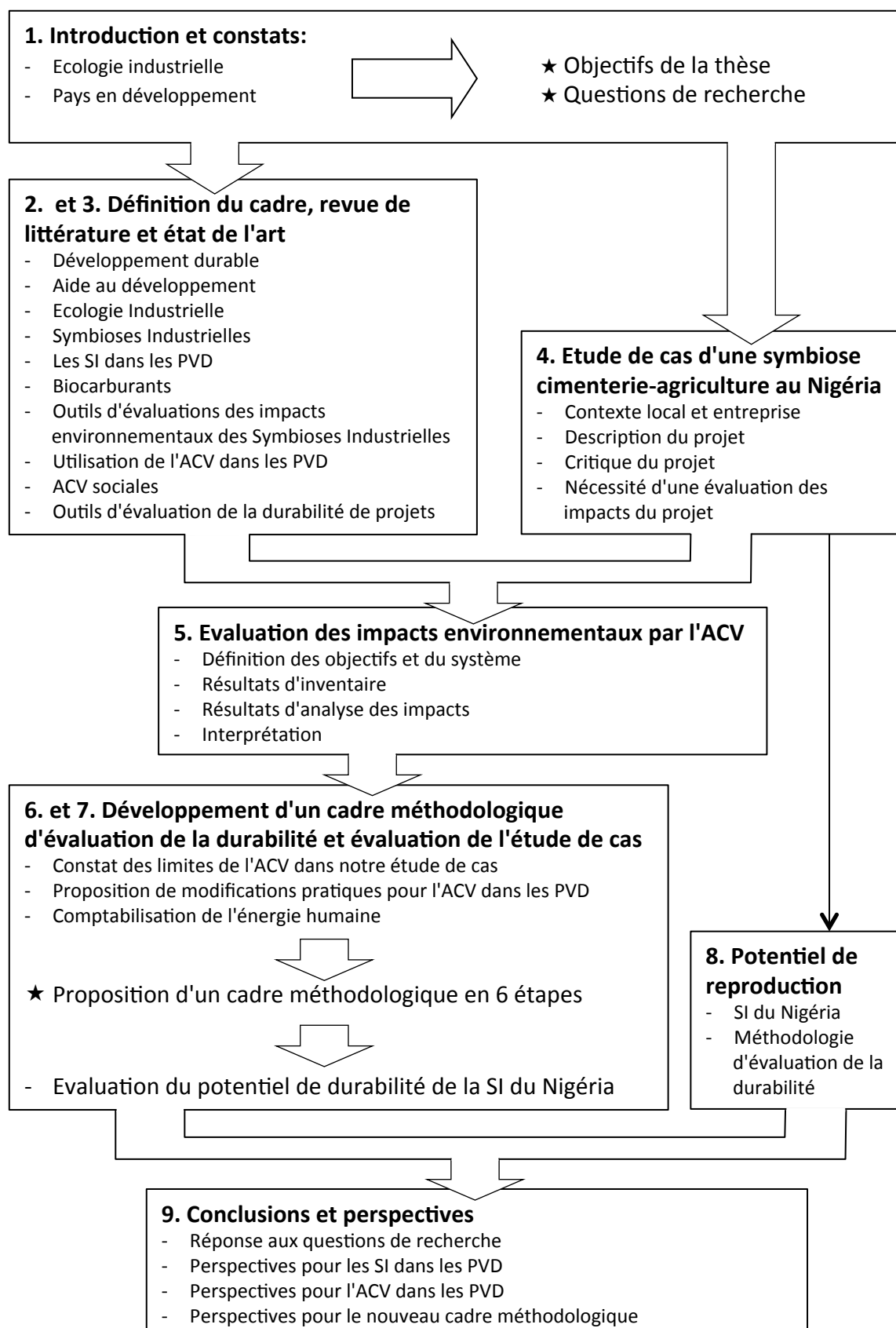
pourront s'appuyer et qui pourra servir autant dans le monde scientifique que dans le monde industriel.

Comme tout travail de doctorat, ma thèse à été parsemée de périodes de doutes et de remises en question. C'est un parcours tout sauf linéaire. Et devenir maman dans cette période si particulière m'a étonnamment permis de clarifier de nombreuses questions dans ma recherche. Dans ce temps d'arrêt que nous nous sommes imposés, les pistes stériles ont pu être abandonnées pour que je puisse me concentrer sur le cœur de mon travail. Et c'est alors que j'avais le moins de temps et de disponibilité, que ma recherche a été la plus productive... Allez savoir comment ceci fonctionne, mais une prise de responsabilité dans ma vie personnelle a abouti à une plus grande appropriation de mon travail de recherche!

Je vous souhaite autant de plaisir à lire ce texte que j'en ai eu à le terminer!

A Jérôme et Valentin

Schéma général de la thèse



Chapitre 1

Introduction

1.1. Introduction et constats

Ces dernières années, un concept très intéressant a émergé des milieux industriels et est de plus en plus utilisé dans les pays industrialisés : l'Ecologie Industrielle. L'un des moyens d'application de ce concept est la création de Symbioses Industrielles. Elles ont été largement utilisées comme stratégie de réduction des impacts environnementaux. La raison de ce succès mérité est que l'Ecologie Industrielle aborde la question environnementale sous un angle nouveau : la vision culpabilisatrice et moralisatrice a ainsi laissé la place à une vision utilitaire et économique. Appliquer les principes de l'Ecologie Industrielle, c'est donc planifier son activité industrielle de manière environnementalement responsable et économiquement rentable.

Cependant, ce concept n'a été que très peu utilisé dans les pays en développement jusqu'à présent. Pourtant c'est lorsque les activités industrielles sont encore au stade de planification que le potentiel d'amélioration est le plus grand. De plus, dans un tel contexte, un autre aspect des Symbioses Industrielles peut prendre toute son importance : la création d'un lien d'échange de matière est en même temps l'occasion de créer un lien social entre les partenaires. Celui-ci offre de nouvelles perspectives très intéressantes pour le développement régional. Serait-ce l'émergence d'une nouvelle opportunité de stratégie pour le développement en Afrique de l'Ouest?

1.1.1. Ecologie industrielle et pays en développement

L'Ecologie Industrielle est un domaine qui cherche à utiliser la nature comme modèle pour les industries. En particulier, elle considère que l'industrie, comme la nature, peut être décrite par un système de flux de matière, d'énergie et d'informations. L'optimisation du système industriel consiste à créer des échanges de matière et d'énergie entre les entités industrielles qui sont alors choisies de manière à être complémentaires et à éviter au maximum les transports inutiles, dissipations, pertes et déchets. Les échanges ainsi créés s'appellent les Symbioses Industrielles, à l'image des symbioses entre différents organismes naturels. Si l'un des acteurs est l'agriculture, nous parlons alors de Symbiose Agro-Industrielle.

Depuis l'émergence de ce concept, l'Ecologie Industrielle a été source de grands espoirs de réduction des impacts environnementaux et de réduction de l'épuisement des ressources. En effet, le système industriel est généralement perçu comme responsable des plus grandes pollutions, mais également de l'augmentation rapide de la pollution mondiale. L'Ecologie Industrielle est une manière de concevoir la protection de l'environnement de manière économiquement intéressante pour les différents partenaires.

Les Symbioses Industrielles sont un outil issu du monde industriel et des milieux techniques. C'est pourquoi les conséquences sociales de leur mise en place ont longtemps été ignorées, car leur observation est souvent éloignée des compétences des professionnels de l'industrie. Cependant, après une trentaine d'années de recul, la communauté scientifique

et industrielle commence à accorder plus d'intérêt à cet élément, qui semble être tout aussi intéressant que les aspects économiques et environnementaux. Et ce sont justement les Symbioses Industrielles qui pourraient faire de l'Ecologie Industrielle un outil particulièrement indiqué pour aborder les questions récurrentes de pauvreté dans les pays en développement.

1.1.2. Pauvreté en Afrique de l'Ouest

On constate que les pays d'Afrique de l'Ouest n'ont pas significativement amélioré leur niveau de vie depuis leur indépendance : espérance de vie¹, mortalité infantile², éducation sont parmi les indicateurs qui montrent que les populations continuent de souffrir. Disparition de la classe moyenne, augmentation de l'écart de revenu entre les classes élevées et pauvres et augmentation de la pauvreté sont d'autres indices qui montrent que les choses ne vont pas en s'améliorant. Tous ces indicateurs font partie des statistiques évaluées dans les Rapports du Développement Humain (voir par exemple [PNUD 2001, 2010]) réalisés annuellement par le Programme des Nations Unies pour le Développement Humain (PNUD) et qui servent à déterminer l'Indice de Développement Humain (IDH) de tous les pays mondiaux. La majorité des pays d'Afrique de l'Ouest est ainsi chaque année classée tout en bas de l'échelle, parmi les pays à faible développement humain.

Ces indicateurs montrent donc un certain échec des politiques publiques locales et de l'aide internationale pour lutter contre cette pauvreté.

La pauvreté est source de nombreux problèmes dans le monde. Elle est responsable d'une espérance de vie peu élevée par exemple, mais également pousse de nombreuses personnes à la migration vers les villes ou même vers des pays offrant de meilleures perspectives. Si les pays industrialisés d'Europe et d'Amérique ont pu accéder dès le siècle dernier à de meilleures conditions de vie et un recul de la pauvreté, une majorité des populations mondiales vit cependant encore dans des conditions de vie difficiles et est en droit d'espérer de meilleures perspectives. La lutte contre la pauvreté est ainsi devenu un thème prioritaire pour les pays développés, conscients que ce déséquilibre mondial pourrait mettre en péril leur niveau de vie et créer des tensions violentes entre les populations.

On observe dans le monde entier que le niveau de vie est généralement plus bas dans les zones rurales que dans les villes [IFAD 2010]. Il en résulte un exode rural dû au manque de perspectives économiques et sanitaires notamment. La natalité est souvent encore plus importante dans les zones rurales.

¹ L'espérance de vie à la naissance était de 41 ans en 1960 et 52 ans en 2008 pour l'Afrique Subsaharienne [The World Bank 2010a]. En comparaison, en Europe (zone Euro) elle était de 70 ans en 1960 et de 81 ans en 2008 en moyenne [The World Bank 2010b].

² La mortalité infantile était de 153 bébés pour 1000 naissances en 1960 et 90 en 2008 [The World Bank 2010a]. En comparaison, en Europe (zone Euro) elle était de 36 bébés pour 1000 naissances en 1960 et de 3 en 2008 en moyenne [The World Bank 2010b].

Il existe souvent des tensions importantes entre les populations rurales et les grandes entreprises internationales présentes dans ces zones. Ces tensions sont en partie dues à un grand sentiment d'injustice ressenti par ces populations face à l'Occident que représentent les entreprises, mais également face à leur propre pays ou gouvernement. La violence est donc souvent le "moyen" utilisé par ces populations pour défendre leurs intérêts.

1.1.3. Développement et lutte contre la pauvreté

Si pour les populations rurales d'Afrique de l'Ouest il n'est pas possible d'espérer de leurs gouvernements des stratégies de lutte contre la pauvreté à court et long terme, quelles autres stratégies existe-t-il? Divers acteurs internationaux ont cherché à mettre en place de nombreuses stratégies pour y arriver, comme l'ONU à travers les Objectifs du Millénaire pour le Développement [ONU 2010] par exemple, ou le protocole de Kyoto à travers son Mécanisme de Développement Propre [ONU 1998]. Mais nous constatons que ces stratégies n'ont pas non plus amené de réel développement à ces populations.

Toutes ces stratégies suivent une logique de type top-down, c'est à dire imposée par le haut. Nous pouvons donc penser que cette approche n'est pas adaptée en Afrique de l'Ouest. L'Ecologie Industrielle permet en revanche d'imaginer une stratégie de type bottom-up, c'est-à-dire issue de la société et du secteur privé. Ainsi, je souhaite montrer dans cette thèse quel pourrait être l'apport des Symbioses Agro-Industrielles dans un tel contexte.

Il est aisé d'identifier quelques critères nécessaires au développement rural en Afrique de l'Ouest: accès aux sources de financement et d'épargne sûres, accès à un marché pour l'écoulement de produits, accès à la formation notamment. Viennent ensuite l'accès à un réseau de santé, l'accès à des sources d'énergie, l'accès à de l'eau potable et de la nourriture équilibrée. La création de Symbioses Agro-Industrielles entre la population rurale et une grande entreprise dans ce contexte permettrait de donner accès à certains de ces critères et de mettre en place des conditions favorables pour la réalisation des autres critères.

Du point de vue de certaines entreprises internationales installées dans les zones rurales d'Afrique de l'Ouest, l'Ecologie Industrielle apporte ainsi de nouvelles perspectives. En effet, certaines d'entre elles constatent que le manque de développement local est cause de tensions importantes avec la population locale. Diverses stratégies peuvent alors être mises en place pour améliorer le niveau de développement régional. Bien qu'elle ne soit pas une stratégie d'aide au développement, l'Ecologie Industrielle amène de nouvelles perspectives dans ce sens. Elle permet d'aborder les questions de développement économique sous un angle différent.

Dans une région souffrant d'un déficit de communication entre les différents acteurs, la mise en place de Symbioses Industrielles pourrait être un moyen très intéressant de relancer le dialogue. C'est justement le cas des entreprises situées dans des zones rurales d'Afrique de l'Ouest et soumises à de fortes pressions par les populations locales. Cependant, peu

d'expériences de Symbioses (Agro-)Industrielles ont pour l'instant été réalisées dans de tels contextes. Les connaissances restent donc à acquérir, autant pour identifier les perspectives qu'offrent ces stratégies que pour identifier les conditions de succès et facteurs limitants.

1.1.4. Développement durable et Symbioses Industrielles

Le développement durable considère que pour préserver la vie et la présence de l'Homme sur Terre à long terme, il est nécessaire de respecter et de s'appuyer sur trois piliers :

- le progrès économique
- la justice sociale et
- la préservation de l'environnement.

Un des objectifs des Symbioses Industrielles est de préserver les ressources renouvelables et non renouvelables en cherchant à recycler les matières et énergies. Elles cherchent également à générer un bénéfice économique en utilisant des matières premières meilleur marché. De plus, les communautés scientifiques et industrielles prennent petit à petit conscience que la création de Symbioses Industrielles a souvent un rôle fédérateur qui provoque un sentiment positif parmi les participants et améliore ainsi la communication entre les entreprises, et ainsi la justice sociale. Ainsi, les Symbioses Industrielles dans les pays en développement sont particulièrement intéressantes car elles s'inscrivent dans une perspective de développement durable, comme l'ensemble de ce travail de doctorat.

1.1.5. Evaluation de la durabilité dans le contexte d'un pays en développement

Lors de la mise en place d'un projet de Symbiose Industrielle, la rentabilité économique est l'un des points *sine qua non* de la réalisation du projet. Par ailleurs, pour un projet de Symbiose Agro-Industrielle ayant pour but ultime d'apaiser ses relations avec la population avoisinante, l'entreprise considère que la justice sociale est intrinsèquement prise en compte dans la définition du projet. Ainsi, des trois piliers du développement durable, seuls les impacts sur l'environnement doivent être évalués spécifiquement afin de s'assurer que le projet permet bien de le préserver.

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est un outil très performant, et largement utilisé en Europe. Il permet d'obtenir des résultats d'une grande précision et a l'immense avantage d'inclure les impacts sur l'environnement à court et long terme dans une perspective de cycle de vie, c'est-à-dire incluant l'ensemble des étapes d'un projet. Une telle perspective est totalement en phase avec la mise en place d'une Symbiose Agro-Industrielle, dont le développement est issu du même courant de pensée systémique.

Cependant l'utilisation d'un outil développé dans un contexte socio-économique différent nécessite son adaptation autant pratique que conceptuelle. C'est pourquoi je chercherai dans

ce travail à comprendre les fondements de cet outil et à respecter ces fondements tout en changeant la forme de son utilisation.

Par ailleurs, bien que les aspects sociaux et économiques semblent faire partie de la définition d'un projet de Symbiose Industrielle, nous nous rendons compte que seule une partie de ceux-ci sont réellement intégrés et qu'un suivi de leur réalisation est rarement planifié. C'est pourquoi en réalité ce ne sont pas seulement les impacts sur l'environnement qui nécessitent un suivi, mais les trois piliers du développement durable.

1.2. Objectifs de cette thèse

Dans cette introduction, je souhaite insister sur le fil rouge de cette thèse, qui s'appuie fondamentalement sur le concept de développement durable. Son utilisation dans les pays en développement m'intéresse plus spécifiquement. Cette thématique sera donc abordée selon deux perspectives, qui seront mes deux objectifs principaux.

La première perspective concerne la mise en place d'un projet en vue de stimuler un développement régional profond et solide à long terme, un développement que l'on pourrait qualifier de durable. A cette fin, je m'intéresserai plus spécifiquement aux Symbioses Industrielles et à leur potentiel à répondre à la nécessité de prendre en compte les aspects environnementaux, sociaux et économiques pour ancrer un projet dans la durabilité. Dans la perspective d'un développement durable de régions très peu industrialisées, je chercherai à étudier l'intérêt de l'Ecologie Industrielle. Plus spécifiquement, le premier objectif concerne l'évaluation de la mise en place de Symbioses Agro-Industrielles en Afrique de l'Ouest. Je pourrai ainsi identifier, sur la base d'une étude de cas, les enjeux et perspectives de la mise en place d'une stratégie de Symbiose Industrielle, en vue de tendre vers un développement durable.

La seconde perspective est la compréhension de la durabilité comme cadre pour l'évaluation d'un projet de Symbiose Agro-Industrielle dans les pays en développement. Ainsi, le deuxième objectif consiste à définir et valider un référentiel méthodologique d'évaluation des impacts environnementaux cohérent avec une définition adéquate du développement durable en Afrique de l'Ouest. Comme je l'ai brièvement mentionné, les outils d'analyse des impacts environnementaux existants reflètent la réalité socio-économique dans laquelle ils ont été développés. L'objectif est ainsi de développer une nouvelle méthodologie pour l'évaluation des impacts environnementaux et de la durabilité d'un projet dans un pays en développement.

1.3. Synthèse des questions de recherche

Afin d'atteindre ces objectifs, j'ai identifié plusieurs questions de recherches sur lesquelles je centrerai ce mémoire de doctorat. Pour répondre au premier objectif, les questions suivantes sont posées :

- Quel est l'intérêt des Symbioses Agro-Industrielles dans les zones rurales des pays en développement?
- Quels sont les enjeux auxquels leur mise en place est confrontée, quelles sont les stratégies existantes?
- Quelles sont les conditions nécessaires à leur succès et quels sont les facteurs limitants?

Pour répondre à l'objectif d'évaluation des impacts environnementaux et de la durabilité dans le contexte d'un pays en développement, je chercherai à répondre aux questions suivantes :

- Quelle méthodologie utiliser pour évaluer la durabilité d'un projet de Symbiose Industrielle dans ce contexte, et intégrer une évaluation des objectifs socio-économiques et environnementaux?
- Comment l'Analyse du Cycle de Vie peut-elle être utilisée dans un contexte socio-économique différent de celui dans lequel elle a été développée?
- Comment, à partir d'un outil d'évaluation très précis peut-on extraire le système de pensée sur lequel il est construit (le cycle de vie), pour en faire un outil de suivi et d'aide à la planification d'un projet de développement durable?

1.4. Structure du travail

Ce travail est structuré en neuf chapitres que je vais décrire ci-dessous.

Le chapitre 2 présente le cadre conceptuel et le contexte. En particulier, j'y présente les bases du développement durable et une brève histoire de l'aide au développement. Une enquête réalisée au Burkina Faso permet d'identifier une partie des causes de l'échec de ces stratégies nationales et internationales pour le développement en Afrique de l'Ouest. Ce chapitre se termine sur la pertinence de l'utilisation de l'Ecologie Industrielle dans ce contexte spécifique pouvant guider vers une nouvelle approche du développement.

Le chapitre 3 est axé sur la recherche d'outils d'analyse adaptés. Je commence par présenter les bases de l'Ecologie Industrielle et des Symbioses Industrielles, ainsi que leur utilisation dans les pays en développement. Les biocarburants présentant un potentiel d'échange important pour la création de Symbioses Agro-Industrielles, je parle ensuite des enjeux principaux de leur production et utilisation en Afrique de l'Ouest. La troisième partie de ce chapitre fait le point sur les outils existants pour l'évaluation des impacts environnementaux d'un projet de Symbiose Industrielle. En effet, nous verrons qu'une telle évaluation s'avère essentielle pour le bon positionnement d'un projet de Symbiose. Une revue de littérature

présente l'état de l'art de l'utilisation de l'Analyse du Cycle de Vie dans les pays en développement. Nous constaterons par la suite qu'une évaluation plus large incluant les trois piliers du développement durable est nécessaire dans le contexte des pays en développement. C'est pourquoi, une seconde revue fait le bilan de l'élargissement de cet outil à l'analyse sociale, l'Analyse du Cycle de Vie Sociale. Enfin la dernière partie présente la recherche d'outil d'évaluation de la durabilité qui soit spécifiquement adapté à l'analyse de projets et nous permettra d'identifier les points importants des outils existants.

On entre avec le chapitre 4 dans le vif du sujet. L'étude de cas d'une Symbiose Agro-Industrielle au Nigéria et son évaluation sont présentées dans ce chapitre. Une entreprise internationale souhaite mettre en place, pour une de ses usines au Nord du Nigéria, une nouvelle stratégie lui permettant d'atteindre trois buts consécutifs : réduire sa consommation d'énergie fossile et ses émissions de CO₂, réduire ses coûts énergétiques et améliorer ses relations avec la population locale. Ayant observé depuis de nombreuses années que les aides ponctuelles au développement de la population locale ne résultaient pas en une réelle amélioration de ses relations avec elle et des conditions de vie en général, l'usine a choisi de mettre en place un projet de Symbiose Agro-Industrielle régional. Ce chapitre présente donc la mise en place de cette Symbiose, les processus de définition des objectifs et les différentes étapes de réalisation en cours. A l'issue de ce chapitre, la nécessité d'une évaluation des impacts environnementaux du projet est mise en lumière.

Le chapitre 5 présente l'évaluation des impacts environnementaux du projet avec l'outil choisi précédemment, l'Analyse du Cycle de Vie. Cette évaluation est réalisée avec les moyens et données à disposition, et permet de faire de premiers constats sur les limites et problèmes pratiques de l'utilisation de cet outil dans le contexte d'un pays en développement.

Au chapitre 6, je fais le point sur l'utilisation de l'Analyse du Cycle de Vie dans les pays en développement et établis une nouvelle méthodologie pour la définition et l'évaluation des objectifs environnementaux, sociaux et économiques dans ce contexte. Ce chapitre s'ouvre sur l'énumération des limites de l'utilisation de l'ACV dans les pays en développement, qu'elles soient pratiques ou conceptuelles. La seconde partie de ce chapitre présente des propositions pour venir à bout de ces limites et débouche sur la proposition d'une nouvelle méthodologie inspirée du Management du Cycle de Vie pour l'évaluation de la durabilité d'un projet de Symbiose dans un pays en développement. Comme nous le verrons, cette méthodologie est participative et aboutit à une évaluation de l'atteinte d'objectifs environnementaux, sociaux et économiques fixés d'un commun accord par l'ensemble des partenaires.

Dans le chapitre 7, j'utilise la méthodologie développée pour évaluer le projet en cours de mise en place au Nigéria présenté précédemment. Cela me permet de montrer que la stratégie mise en place est relativement bien adaptée aux objectifs fixés par le projet. Le

processus d'adaptation itérative de cette stratégie, faisant partie intégrante de la méthodologie d'évaluation permet d'atteindre progressivement l'ensemble de ces objectifs.

Le chapitre 8 revient sur l'opportunité que représentent les Symbioses Industrielles pour les entreprises dans les pays en développement d'être des moteurs pour le développement rural et régional. J'y identifie les étapes de reproduction de la méthodologie proposée pour la mise en place d'une Symbiose dans ce contexte-là, ainsi que les freins potentiels.

Ce travail est conclu par le chapitre 9, qui revient sur l'ensemble du travail et présente de manière synthétique les résultats obtenus et les réponses aux questions initiales de recherche.

1.5. Bibliographie

-
- IFAD (2010). *Rural Poverty Report 2011*. Rome, Fonds International de Développement Agricole: 323. <http://www.ifad.org/rpr2011/f/index.htm>
- ONU (1998). *Protocole de Kyoto à la convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques*. Kyoto, Japon, Organisation des Nations Unies: 24
- ONU (2010). *Objectifs du Millénaire pour le Développement. Rapport 2010*. New York, ONU: 80. <http://www.un.org/fr/millenniumgoals/pdf/report2010.pdf>
- PNUD (2001). *Le rapport mondial sur le développement humain 2001. Mettre les nouvelles technologies au service du développement humain*. 262p New York.
- PNUD (2010). *Le rapport mondial sur le développement humain 2010. La vraie richesse des nations: les chemins du développement humain*. 260p New York.
- The World Bank (2010a). *Africa Development Indicators*. <http://data.worldbank.org/data-catalog/africa-development-indicators?display=graph>
- The World Bank (2010b). *World Development Indicators*. <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators?display=graph>

Chapitre 2

Cadre

Développement durable, aide au développement et
développement industriel en Afrique de l'Ouest

2.1. Introduction

Nous le savons maintenant, la pauvreté n'a pas reculé en Afrique de l'Ouest ces vingt dernières années, malgré tous les efforts déployés de longue date par l'aide internationale [The World Bank 2010]. Les populations rurales sont considérées comme les plus vulnérables. Une remise en question s'impose.

Ce travail s'interroge sur le potentiel des Symbioses Agro-Industrielles dans les zones rurales d'Afrique de l'Ouest, pour le développement régional. Le thème qui sous-tend à tout ceci est la durabilité, ou le développement durable. En effet, pour qu'un projet de Symbiose Industrielle puisse être mis en place et que ses effets puissent être appréciés, il doit s'inscrire dans une perspective de durée.

L'environnement semble tout de suite être un élément à protéger. Mais comme nous le verrons, il n'est pas le seul. Le cadre social et économique est également fragile et nécessite une prise en compte intégrée. Le développement durable offre un cadre conceptuel absolument nécessaire. Il est le fil rouge de ce travail et c'est pourquoi j'en rappellerai les principes généraux (partie 2.2).

La mise en place de Symbioses Agro-Industrielles en Afrique de l'Ouest modifie le contexte socio-économique régional et peut mener à un développement économique pour la population locale. Il est donc absolument nécessaire de faire le point sur l'état du développement dans cette région du monde. En effet, la réduction de la pauvreté est source de nombreuses stratégies nationales et internationales qui s'appuie généralement sur l'aide internationale au développement. Cependant, ces stratégies ne semblent pas avoir permis une réduction de la pauvreté. C'est pourquoi je dresserai également un tableau de cette aide au développement (parties 2.3 et 2.4) et apporterai des éléments de réponse à l'échec actuel de ces politiques (partie 2.5), au travers d'entretiens réalisés au Burkina Faso auprès de cadres du pays.

Nous terminerons ce chapitre en ouvrant une nouvelle perspective de développement pour les zones rurales passant par le secteur privé (partie 2.6). En effet, le fonctionnement des entreprises est basé sur des relations contractuelles, où chaque partenaire est bénéficiaire du contrat signé. L'Ecologie Industrielle, dont je parlerai plus en détail au chapitre 3, offre en ce sens une stratégie très intéressante pour les pays en développement et peut s'inscrire dans une perspective de développement durable.

2.2. Développement durable

2.2.1. Le développement durable, un cadre conceptuel

Le développement durable est un concept qui a émergé dans les années 1980 comme une prise de conscience que la société humaine a besoin d'un cadre défini pour évoluer à long terme sans compromettre ses chances de survie et celles de sa descendance.

Un rapport du club de Rome en 1972 [Meadows *et al.* 1972] présente pour la première fois une simulation de la croissance démographique mondiale en fonction de l'exploitation des ressources. Ce rapport prédit une chute de la disponibilité des ressources au 21ème siècle, due à la pollution et à la raréfaction du pétrole et autres ressources non renouvelables. Ceci aurait pour conséquence une diminution rapide et importante de la population mondiale. Suite à ce rapport, le monde entier a ainsi pris conscience que notre planète est limitée et que les ressources ne doivent pas être exploitées de manière irraisonnée. Il y a donc une nécessité de diminuer la consommation des ressources (renouvelables et non renouvelables), et d'augmenter notre capacité à réutiliser ou recycler ce qui était jusqu'à lors considéré comme des déchets. Il émerge alors une nécessité de revoir la croissance économique mondiale sous l'angle des ressources limitées qu'offre la planète, et dans une perspective de longue durée.

C'est le rapport Brundtland en 1987 [Brundtland *et al.* 1987] qui donne la première définition du développement durable: "le développement durable est un développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs". Pour qu'un développement puisse être durable, il faudrait dans l'idéal préserver le capital des ressources et n'en consommer que les intérêts.

Lors du Sommet de Rio en 1992¹, il a également été défini que le développement durable reposait sur trois piliers :

- le progrès économique
- la justice sociale et
- la préservation de l'environnement.

Ces trois piliers sont souvent représentés sous la forme de trois cercles qui se recourent (Figure 2. 1).

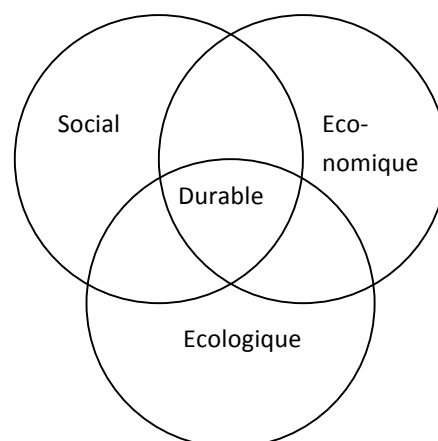


Figure 2. 1 : Les trois piliers du développement durable

¹ On appelle le Sommet de Rio la **Conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement** qui s'est tenue à Rio de Janeiro au Brésil du 3 au 14 juin 1992.

Le développement durable est au cœur de ce travail de thèse. L'équilibre de ces trois piliers est considéré comme une condition nécessaire à la protection de la vie humaine sur Terre. Nous verrons dans ce travail que la manière de comprendre et d'appliquer ces concepts est bien différente suivant que l'on soit dans un pays industrialisé ou dans un pays en voie de développement.

2.2.2. L'Ecologie Industrielle, un concept qui va dans le sens d'un développement durable

L'Ecologie Industrielle est née à la même époque que le développement durable. Cette prise de conscience de la finitude de la planète a fait émerger toutes sortes de stratégies pour limiter l'impact de l'Homme sur celle-ci. Dans les années 1970, c'est d'abord l'épuisement des ressources naturelles qui inquiète les chercheurs, politiciens et citoyens. Rapidement, on se préoccupe également de la question de la pollution des ressources, principalement due au développement industriel. Petit à petit, d'autres thèmes liés à l'environnement s'ajoutent à cette petite liste, comme la perte de biodiversité, le réchauffement climatique, ou la disponibilité des ressources en eau potable.

Les industriels eux aussi sont interpellés par ces questions environnementales et cherchent à inscrire leurs activités dans une plus grande durabilité. Emerge alors dans les années 1980 la notion d'*Ecologie Industrielle*. Ce terme qui semble contradictoire présente une vision nouvelle de l'activité industrielle comme pouvant faire partie et s'inspirer des cycles trophiques naturels. Ainsi nous pouvons concevoir l'industrie à l'image de la nature, comme une succession de flux de matière et d'information. Dans un tel modèle idéal, l'industrie est conçue de manière à limiter les déchets qu'elle produit, mais également créer des liens d'échanges de ces déchets avec d'autres industries. Cela lui permet de réduire la consommation de ressources primaires tout en garantissant que la matière continue son cycle d'utilisation. De plus ces échanges permettent un gain financier pour les différentes parties (le producteur du déchet et le réutilisateur).

L'Ecologie Industrielle est un domaine en pleine expansion qui a montré de nombreux intérêts pour l'industrie des pays industrialisés. C'est en effet une nouvelle manière de concevoir le système industriel qui permet de réduire les impacts environnementaux à la base plutôt que de devoir traiter les problèmes et pollutions en fin de chaîne.

Cette stratégie est également pleine de promesses pour les pays en voie de développement ou émergents. Une utilisation éclairée de celle-ci permettrait d'éviter à ces pays les catastrophes écologiques que leur développement industriel pourrait provoquer.

Des stratégies pleines d'espoir sont en train d'être mises en place dans les pays en développement d'Asie notamment. Ces pays sont déjà très industrialisés, et produisent une grande partie des objets vendus dans le monde. Une stratégie d'Ecologie Industrielle trouve tout son sens dans un tel contexte, où l'activité industrielle est foisonnante, les possibilités

d'amélioration du système multiples et les besoins de lutter contre les grandes pollutions de plus en plus pressants.

Très peu de travail a pour l'instant été réalisé pour une utilisation de l'Ecologie Industrielle dans les pays en développement très peu industrialisés. Pourtant, un petit nombre d'expériences existe et montre que la portée de ces concepts est bien plus large que les seules conséquences environnementales et économiques. En effet, ces expériences nous permettent de prendre conscience de l'intérêt social de l'Ecologie Industrielle. Il se pourrait même que cet intérêt social dépasse, dans d'autres contextes également, les avantages environnementaux et économiques!

2.2.3. Evolution du Développement Durable

Historiquement, le développement durable a toujours été très lié aux questions environnementales. En effet, c'est par la prise de conscience de la nécessité ultime de limiter nos consommations de ressources et les pollutions de matières premières que cette notion est née. Dans les premiers temps, les deux autres piliers (économie et société) du développement durable ont passablement été délaissés. Cependant, force est de constater que la machine est en marche et qu'il est extrêmement difficile de l'arrêter. Le développement durable a donc souvent été vu comme un moyen de se donner bonne conscience sans vraiment changer grand-chose.

Toutefois, les thèmes de l'économie et de la société refont petit à petit surface et un rééquilibrage est en train de se faire. Suite aux crises économiques mondiales de 2007 et 2008, le système a été un peu ébranlé. De nouvelles initiatives font surface. Des outils et des normes sont établis, à l'instar de la Global Reporting Initiative, qui ont pour objectif de replacer le développement durable sur ces trois piliers. Ce travail de thèse s'inscrit dans cette tendance globale, et cherche à rééquilibrer l'importance des aspects sociaux, économiques et environnementaux dans le contexte des pays en développement.

2.2.4. L'Indice de Développement Humain

Il existe un indicateur visant à synthétiser des aspects économiques et sociaux de développement afin de faire un classement mondial. Cet indicateur se nomme l'Indice de Développement Humain (IDH) et est calculé par le PNUD [2011]. Cet indicateur est intéressant car il reflète une certaine réalité et une certaine perception de ce que devraient être le développement et le progrès. C'est un indicateur composite qui agrège de nombreux sous-indicateurs traitant les thèmes de la santé, de l'éducation et du bien-être. Il est internationalement reconnu et publié annuellement [2010a].

Nous pouvons cependant remarquer quelques défauts qui rendent son utilisation dans les pays en développement plus difficile. Parmi ceux-ci, nous pouvons noter que cet indicateur est calculé à partir de statistiques nationales et officielles. Le secteur informel étant globalement très répandu dans ces pays, et les informations concernant ce secteur n'existant

pas, les statistiques officielles ne peuvent pas inclure ces données dans leurs calculs. Les résultats obtenus sont donc biaisés. Notons également que, s'agissant de statistiques nationales, elles donnent très peu d'informations sur une région particulière : les disparités pouvant être très grandes (comme c'est le cas au Nigéria par exemple), une statistique nationale peut être très éloignée du contexte régional réel.

Ainsi, cet indicateur IDH pourra être utile dans un premier temps dans une perspective de développement durable, mais ne sera pas suffisant pour caractériser le contexte socio-économique d'un pays en développement.

2.3. L'aide au développement, notions théoriques et histoire

Ce travail s'intéressant au développement économique et à l'évaluation de la durabilité d'un projet en Afrique de l'Ouest, il est nécessaire de donner un bref rappel de ce qu'est l'aide au développement et de son évolution historique récente. C'est ce que je présenterai dans les prochains paragraphes. Cette présentation nous permettra de tirer un bilan des enjeux liés à ces stratégies. Ceci ouvrira la porte à de nouvelles stratégies basées non plus sur une planification nationale et internationale, mais sur les relations contractuelles qui peuvent émerger du secteur privé.

2.3.1. Définition de l'aide au développement

L'aide au développement comprend aussi bien la coopération au développement que l'aide humanitaire. La coopération au développement est une aide systématique à long terme alors que l'aide humanitaire est une aide d'urgence qui est débloquée ponctuellement.

Cette aide peut être publique et basée sur une aide bilatérale ou sur une aide multilatérale. Elle peut également être privée. La Figure 2. 2 illustre ces différents types d'aide au développement.

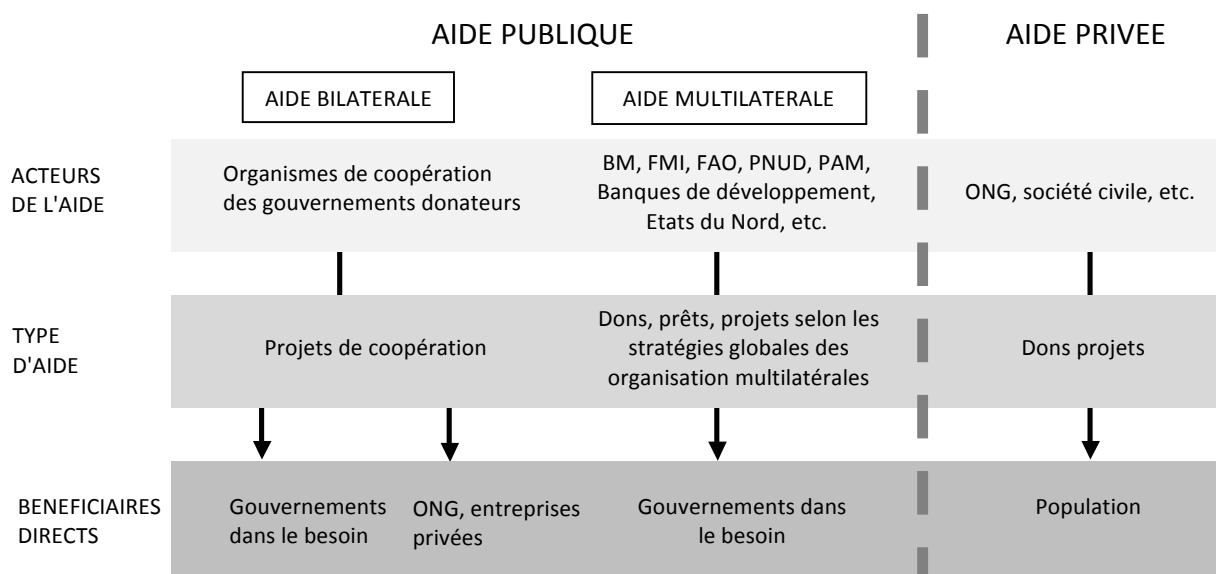


Figure 2. 2 : Aide au développement (figure réalisée à partir du texte de [Schümperli 2007])

2.3.2. Les motivations et objectifs de l'aide au développement

L'aide publique au développement a vu le jour à la suite de la seconde guerre mondiale. Comme le note Schümperli [2007], jusqu'à la fin de la guerre froide *"ce ne sont ni le devoir de solidarité pas plus que l'idée d'une aide désintéressée qui ont fondé la coopération au développement. Cette dernière est un instrument de politique étrangère qui figure dans la panoplie des riches nations. L'importance des moyens financiers engagés dépend d'objectifs stratégiques, toujours inspirés par la défense des intérêts nationaux."*

Actuellement, les motivations des Etats à la coopération au développement sont de trois types. Les motivations politiques par lesquelles un Etat cherche à garantir son influence internationale, les motivations économiques par lesquelles un Etat garantit un marché à ses produits et services, et finalement les motivations éthiques liées à la déclaration des droits universels de Philadelphie² [Schümperli 2007].

Suite aux terribles conflits des deux guerres mondiales qui ont profondément marqué les pays d'Europe, les objectifs de la coopération au développement étaient initialement de participer à garantir la paix mondiale. Depuis les années 1960, la lutte contre la pauvreté et la solidarité internationale sont devenus les objectifs centraux [Schümperli 2007].

Ainsi, dès les débuts de son existence, la coopération au développement est liée à un paradoxe, celui d'offrir une aide désintéressée au développement tout en garantissant que cette activité génère des retombées appréciables pour les économies nationales des pays donateurs [Schümperli 2007].

2.3.3. L'assistance internationale de 1940 à 1950

En³ 1944, la conférence de Bretton Woods réunit 44 nations pour construire le nouvel ordre économique mondial. C'est à l'issue de celle-ci qu'ont été créés la BIRD (actuellement connue sous le nom de Banque Mondiale, BM) et le Fonds Monétaire International (FMI). Ces deux institutions, initialement créées pour mettre fin aux problèmes de reconstruction de l'après-guerre, vont occuper une place très en vue dans la politique de développement internationale [Moyo 2009].

Avec le plan Marshall, instauré en 1948, les Etats-Unis s'engagent à assister l'Europe d'après-guerre à hauteur de 13 milliards de dollars. Ils financent les plans de renaissance économique dont ils exigent la mise en place par les gouvernements européens. Le succès du plan est incontestable pour tous les protagonistes impliqués: l'Europe de l'Ouest a reconstruit ses infrastructures détruites, retrouvé une forte position économique et une

² Les droits universels de Philadelphie sont à la base de droits de l'Homme.

³ Une partie des points 2.3.3 à 2.3.6 sont partiellement inspirés d'une recherche bibliographique non publiée de Mme Céline Zurbriggen (2010), alors étudiante en Master en environnement, UNIL, dirigée par Pascale Schwab Castella.

stabilité politique. Quant aux Etats-Unis, ils ont gagné une influence importante en politique étrangère et ont vu renaître leurs plus gros partenaires commerciaux. A la fin des années 50, une fois que l'Europe semble sortie d'affaire, l'attention se tourne vers le Tiers-Monde. Si le plan Marshall a si bien fonctionné, pourquoi ne pas l'appliquer aussi aux autres régions du monde [Moyo 2009]?

Une partie des fonds des institutions de Bretton Woods réservés à la reconstruction de l'Europe est alors redirigée vers des programmes de développement de l'Afrique. Le but est l'investissement en capital productif (considéré à l'époque comme la base de la croissance économique et donc du développement) dans des pays pauvres manquant cruellement de capital propre.

Les gouvernements du Nord le reconnaissent, la raison principale de l'aide au développement n'est pas le devoir de solidarité envers des pays en difficulté mais plutôt la "*garantie de leurs intérêts dans certaines parties du monde, qu'ils soient commerciaux, stratégiques ou tout simplement culturels ou politiques*" [Brunel 1997]. La colonisation en Afrique commence à prendre fin dans les années 1960 et certains pays européens tiennent à garder une emprise géopolitique sur leurs anciennes colonies en utilisant l'aide comme instrument de politique étrangère. Par exemple, la France dirige une majorité de son aide bilatérale en Afrique afin d'assurer un rayonnement culturel de la francophonie, mais aussi les voix d'une quarantaine de pays à l'ONU et surtout des débouchés pour ses entreprises. Ainsi, ce ne sont pas les pays les plus pauvres qu'elle aide en priorité mais ceux qui lui sont le plus utiles. Quant aux USA, la guerre froide les pousse à aider financièrement tout gouvernement, quelle que soit sa nature, susceptible de s'engager dans le camp capitaliste, pendant que l'Union soviétique soutient les plus célèbres chefs d'Etats communistes africains [Brunel 1997].

2.3.4. L'assistance internationale de 1950 à 1980

Dès le milieu des années 1950, l'aide au développement se caractérise par une approche dite quantitative. Pour les pays en voie de développement (PVD), les économistes préconisent un apport massif de capitaux extérieurs afin de passer directement à la phase de décollage. C'est la théorie dite du *big push*: l'aide est essentiellement dirigée vers des projets de grande envergure, des programmes de construction de l'industrie lourde et de grosses infrastructures. L'argent investi dans ces projets l'est souvent sous forme de prêts.

Vers 1960, les USA et la France corrigent leur notion de l'aide avec la notion de *self-help* qui préconise une mobilisation de l'épargne intérieure et de la population active. Cette étape esquisse les prémices du développement des pays dits "dragons"⁴ mais pas celles de l'Afrique.

⁴ La Corée du Sud, Hong Kong, Singapour et Taïwan

De plus, le nombre d'infrastructures effectivement construites est difficilement évaluable mais il est certain que le continent noir est aujourd'hui toujours pauvre en routes goudronnées, voies de chemin de fer, ponts et aéroports [Moyo 2009].

Suite au premier choc pétrolier (1973), la Banque Mondiale décide de délaissier les grands projets de dotations en infrastructures pour se concentrer sur la lutte contre la pauvreté. D'une approche purement économiste, on passe à une approche plus qualitative, cherchant à satisfaire les besoins fondamentaux des populations des pays pauvres. Le développement n'équivaut plus à rattraper les pays riches mais doit répondre aux besoins de base [Sachs 2000]. De vastes programmes sont établis pour éduquer la population et répondre à ses divers besoins.

Suite au second choc pétrolier (1979), les banques relèvent leurs taux d'intérêt, ce qui a pour conséquence d'augmenter l'impact de la crise sur les populations pauvres. L'endettement devient insoutenable. Les pays sahéliens en viennent à annoncer leur impossibilité à rembourser leurs dettes. Afin de garantir la stabilité financière internationale, le FMI leur prête alors de l'argent pour les aider à payer leurs dettes et l'aide continue d'affluer. Cette solution avantageuse pour les pays du Nord n'en apporte aucune pour ceux du Sud qui voient leur dépendance vis-à-vis de l'hémisphère nord (et spécialement vis-à-vis des institutions de Bretton Woods) et leur dette s'accroître. Leur situation commerciale empire de surcroît en raison des prix des matières premières au plus bas vers 1980 [Moyo 2009].

2.3.5. L'assistance internationale de 1980 à aujourd'hui

Dès le début des années 1980, la doctrine néolibérale prend de l'ampleur et prend appui sur le modèle des "tigres asiatiques"⁵ dont les taux de croissance annuels élevés ont réduit la pauvreté. Deux nouveaux programmes d'assistance de la Banque Mondiale et du Fond Monétaire International voient le jour : l'un de stabilisation et l'autre d'ajustement structurel. Le premier cherche à réduire les déséquilibres macro-économiques alors que le second encourage la libéralisation du commerce. Les gouvernements du Sud reçoivent des fonds contre la promesse de minimiser le rôle de l'Etat, de libéraliser leur commerce en supprimant leurs barrières douanières face au commerce international, de libéraliser le marché des capitaux, de réduire le nombre de fonctionnaires, de déréglementer et de privatiser leurs entreprises étatiques (quel que soit leur domaine d'activité: transport, agriculture, tourisme, eau, électricité, etc.). Les programmes d'ajustement structurel (PAS) sont mis en place pour alléger le déficit de la balance des paiements et financer les importations.

⁵ Il s'agit de la Thaïlande, de la Malaisie, de l'Indonésie, des Philippines et de Brunei, que l'on nomme aussi les nouveaux pays exportateurs (NPE)

Grâce aux PAS, l'Asie du Sud-Est et l'Amérique latine enregistrent des progrès dans le rétablissement des équilibres financiers, ce qui restaure la confiance des investisseurs étrangers. En revanche, en Afrique, les progrès effectués sont loin d'être flagrants: pauvreté et corruption continuent de sévir. La plupart des économies des Etats africains ont été asphyxiées par des politiques de rigueur financière sans pouvoir mettre en place les conditions d'une reprise.

Début 1990, le poids du service de la dette continuant d'augmenter, la communauté des donateurs cherche à donner une nouvelle orientation à l'aide pour en augmenter l'efficacité. [Moyo 2009]. Elle pense que c'est la corruption qui empêche l'Afrique de se développer, et donc, en instaurant une bonne gouvernance et la démocratie dans les Etats africains où elle fait défaut, croissance et développement bénéficieront enfin des conditions nécessaires. Ce modèle démocratique appelle à une participation de la population aux différents domaines d'intervention de l'Etat pour permettre aux citoyens d'être les acteurs de leur propre développement.

Dès 1991, la fin de la guerre froide marque le début de nouvelles perspectives pour la coopération au développement qui ajoute de nouvelles préoccupations à son agenda, telles que la préservation de l'environnement (marqué par le sommet de la Terre à Rio, 1992) ou la défense des droits de l'homme. La communauté internationale prend conscience de l'apparition de problèmes globaux qui prouvent l'interdépendance de tous les Etats du monde. L'aide au développement se prévaut à présent d'une obligation morale planétaire [Schümperli 2007].

Parallèlement, cette période voit considérablement baisser les flux de capitaux prenant le chemin de l'Afrique : l'Union soviétique réduit son aide après son éclatement et les autres donateurs, n'étant plus liés à certains pays par des enjeux politico-stratégiques, baissent considérablement les montants octroyés aux pays africains.

En 2000, les Etats membres de l'ONU signent la déclaration des "Objectifs du millénaire pour le développement (OMD)". Les 150 chefs d'Etat qui l'ont signée ont par ailleurs enfin admis que *"la pauvreté a de nombreuses dimensions, qu'il ne s'agit pas seulement d'une insuffisance de revenu, mais aussi, par exemple d'une insuffisance de soins médicaux et d'accès à l'eau"* [Stiglitz 2006, p.52].

Notre siècle ne présente pas un tableau de l'aide au développement plus efficace que le précédent: les OMD pour 2015 ne seront sans doute pour la plupart jamais atteints en Afrique et, en 2003, le FMI lui-même reconnaît que la libéralisation des marchés n'a pas apporté plus de croissance mais au contraire plus d'instabilité pour de nombreux pays en développement [Stiglitz 2006].

2.3.6. L'aide privée des ONG de développement

L'aide apportée par les ONG de développement est certes nettement moins influente au niveau macro-économique faute de moyens financiers, de pouvoir de pression politique et de ressources humaines suffisantes. Cependant les initiatives de ces protagonistes présentent certains avantages que ne peuvent offrir les acteurs de l'aide bilatérale et multilatérale. Selon la Banque Mondiale, *"une bonne ONG de développement peut, mieux que la plupart des autres organismes, comprendre et exprimer les besoins des populations, et mettre en place des actions pour subvenir efficacement à ces besoins."* [Beigbeder 1992].

L'une des différences fondamentales entre les ONG et les autres organismes d'aide au développement est leur liberté d'adhésion ou non aux politiques des gouvernements et aux ambitions politiques de chefs d'Etat. Par ailleurs, les acteurs des ONG ont l'expérience directe du travail sur le terrain et sont par conséquent souvent plus au courant des besoins des populations et plus aptes à les combler. De manière générale, leur travail est motivé par un sentiment de solidarité et une réelle volonté d'aider les populations en difficultés plutôt que par l'esprit d'ambition caractérisant bon nombre d'experts et de techniciens des organisations intergouvernementales d'entraide [Stangherlin 2001]. Les ONG favorisent l'aide au développement endogène. Elles préconisent les échanges entre les experts et la population locale. Cette forme de développement renonce la plupart du temps à tirer le moindre profit commercial [Strahm 1985].

Il existe cependant un écueil majeur de l'action des ONG: il est souvent difficile de coordonner leurs activités avec les autres partenaires de développement qui implantent leurs actions sur le même territoire. Il en résulte parfois des doublons ou pire des contradictions dans les domaines d'intervention.

2.3.7. La Chinafrique

Un nouveau type d'aide au développement voit le jour depuis peu, celui de la Chinafrique. En effet, la Chine, consciente de son besoin croissant en matières premières investit largement en Afrique. Pour avoir accès au pétrole, aux céréales ou à d'autres ressources dont elle a besoin, la Chine accepte de traiter avec des pays instables ou en guerre, et y construit de grandes infrastructures, sans chercher à exiger des gouvernements de changement dans les modes de gestion du pays, ni de garantie de redistribution de l'aide. Il s'agit plus pour la Chine d'investir de nouveaux marchés que de faire de l'aide au développement. Il n'y a pas de modèle économique ou social conditionnel à ces échanges, seulement des contrats commerciaux.

Ce nouveau type de relations avec l'Afrique est considéré par l'Occident comme une nouvelle forme de colonialisme. L'Afrique au contraire considère ces échanges comme une opportunité d'avoir un nouveau partenaire économique de poids qui lui permet de mieux négocier les prix des matières qu'elle exporte. La contrepartie est l'inondation des marchés africains de produits chinois bons marchés et de mauvaise qualité qui font une forte

concurrence aux produits locaux, notamment dans le secteur du textile, et mettent en péril la petite industrie locale [Michel and Beuret 2008].

2.3.8. NTIC pour le développement

Depuis les années 1990 déjà, mais surtout depuis 2001, le secteur des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) a été perçu comme solution au problème du développement. Le rapport mondial sur le développement humain 2001 du PNUD traite en particulier de ce thème [PNUD 2001]. En effet, avec la mondialisation, les NTIC se sont beaucoup développées dans les pays industrialisés, et ont également percé dans les pays en développement. On a donc rapidement réalisé qu'elles pourraient être utilisées au service de nouvelles stratégies de développement.

De nombreux pays d'Afrique, appuyés par le PNUD cherchent depuis lors à mettre en place une stratégie de développement basée sur ces technologies. Le PNUD-Mali par exemple, écrit sur son site internet : *"Les nouvelles technologies de l'information et de la communication constituent un puissant outil qui favorise la participation aux marchés mondiaux, encourage la responsabilité politique, améliore la fourniture des services sociaux de base et accroît les opportunités de développement local. Elles sont devenues des instruments indispensables dans la lutte contre la pauvreté et fournissent aux pays en développement une occasion sans précédent d'atteindre beaucoup plus efficacement des objectifs de développement vitaux"*[PNUD 2010b].

Les NTIC englobent de nombreuses technologies, plus ou moins récentes, comme la téléphonie mobile, internet, les systèmes d'information géographique (SIG), et même la radio. Ces technologies offrent de nombreuses perspectives pour les pays en développement. Le forum "tech for food" en France se penche depuis plusieurs années sur les apports des NTIC pour le développement de l'agriculture dans les pays en développement. En particulier, celles-ci permettent aux paysans de mieux s'informer, de mieux produire et de mieux commercialiser leurs céréales [TV Agri 2010]. La téléphonie mobile et internet permettent par exemple aux paysans d'avoir accès à la météo ou aux prix des céréales sur le marché mondial : ces connaissances leur permettent de mieux gérer leur production et leur vente [Kouable 2007].

La radio est un vecteur connu de longue date déjà pour la formation et l'appui technique à distance des paysans. Elle permet de sensibiliser aux risques de l'utilisation de certains intrants et d'informer sur certaines mesures d'hygiène pour diminuer les risques de maladie et les contaminations dans la vie courante par exemple.

Un couplage d'internet et des SIG permet de connaître certains risques climatiques [Gay 2007] ou l'invasion de certaines espèces d'insectes problématiques (par exemple les criquets) [Lazar 2007] suffisamment à l'avance pour mettre en place des stratégies de protection ou prévention.

Mais ces nouvelles technologies ont aussi des freins importants à leur utilisation. Elles nécessitent un accès à l'électricité régulier, mais également à un réseau de téléphonie mobile

par exemple, ce qui n'est pas toujours le cas dans les zones rurales d'Afrique. Par ailleurs, leur utilisation a un coût, alors que les personnes qui en auraient besoin n'ont pas forcément les moyens d'investir dans ces technologies. Ainsi, malgré tous les espoirs tournés sur les NTIC, elles n'ont jusqu'à maintenant pas apporté de révolutions dans le développement rural. Cependant, nous reconnaissons qu'utilisées à leurs pleines capacités, ces technologies restent une aide très utile aux populations rurales.

2.3.9. Mécanisme de développement propre du protocole de Kyoto

D'autres stratégies d'aide au développement émergent. Le protocole de Kyoto [ONU 1998], qui a rassemblé les principaux pays émetteurs de gaz à effet de serre (GES), a mis en place un mécanisme, nommé Mécanisme de Développement Propre (MDP), ayant pour but d'apporter de nouvelles sources de financement pour les pays en développement.

Ratifié en 1997, le protocole de Kyoto a pour but de lutter contre les changements climatiques en réduisant les émissions de gaz à effet de serre globales.

Partant du constat que les pays industrialisés émettent trop de GES et qu'une croissance rapide des pays en développement pourrait faire augmenter de manière dramatique ces émissions, le protocole de Kyoto définit un mécanisme de compensation. L'article 12 de ce protocole définit la mise en place d'un mécanisme ayant pour but de favoriser les investissements privés et publics dans des projets visant à la réduction d'émissions dans des pays en voie de développement, dans une optique de développement durable. En retour, les pays industrialisés signataires du protocole de Kyoto et investissant dans les projets MDP peuvent respecter leurs obligations via l'octroi de crédits carbone (aussi nommés Unité de Réduction Certifiée des Emissions) [Zuodar 2008].

En théorie, l'idée est que les pays en voie de développement puissent bénéficier de ressources financières (qui ne peuvent en aucun cas être imputées comme dette du pays hôte) ainsi que d'un transfert technologique axé sur le développement durable, alors que les pays industrialisés peuvent atteindre leurs objectifs de Kyoto à un moindre coût que si les activités devaient être opérées sur leur propre sol [UNDP 2003]. Le MDP constitue donc, pour les pays hôtes, une immense opportunité de transfert de capitaux et de technologies, et peut de ce fait représenter un atout pour la lutte contre la pauvreté et le développement durable. A l'instar de l'étude prospective réalisée pour le Burkina Faso par exemple [N'Guessan M'Gbra *et al.* 2008], de nombreux pays cherchent à obtenir ces sources de financements.

Pour avoir droit à un financement du MDP, un projet doit respecter le critère d'additionalité, c'est à dire qu'on puisse prouver qu'il permet une réduction des émissions additionnelles à celles qui auraient eu lieu en l'absence de celui-ci. Une priorité est mise pour les projets permettant de réduire les émissions les plus impactantes pour le climat, à savoir les gaz HCFC par exemple.

Initialement prévu pour soutenir le développement des pays les plus pauvres, dont font partie une bonne partie des pays africains, ce mécanisme a pour l'instant, et malgré les processus de facilitation mis en place, surtout été utilisé dans les pays émergents: sur les

plus de 2800 projets certifiés en début 2011, environ 80% d'entre eux sont réalisés en Asie, 18% en Amérique Latine et seulement 2% en Afrique [UNFCCC 2011]. Une des causes à ceci est la complexité administrative et la charge financière très importante nécessaire à mettre en place et certifier un tel projet. Cette charge favorise les projets de grande envergure, mettant en jeu des montants financiers élevés et permettant d'importantes réductions. Les projets potentiels en Afrique sont souvent de moindre envergure et peinent donc à obtenir ces financements. Nous constatons donc après un premier bilan que l'Afrique n'a pas encore beaucoup profité de cette source de financement pour soutenir son développement.

2.3.10. Green Growth de l'OCDE, stratégie pour une croissance verte

Green Growth est un programme de l'OCDE visant à aider les pays de la zone Asie / Pacifique à établir une croissance verte, c'est à dire une croissance économique environnementalement durable, et à réduire la pauvreté [UNESCAP 2006].

Pour ce faire, l'OCDE travaille avec les gouvernements dans les domaines suivants [UNESCAP 2005] :

- Adopter une consommation et une production durable, en améliorant l'éco-efficience de la croissance, en intégrant par exemple la vision du cycle de vie des produits et services
- Verdir le marché et le commerce, en promulguant des lois incitatives pour les PME.
- Développer des infrastructures durables, en offrant un accès sûr à l'eau et à l'énergie par exemple, ou en développant les transports multimodaux
- Effectuer une réforme fiscale, en instaurant des taxes pour les entreprises polluantes et des subventions aux projets favorisant un développement durable et une réduction de la pauvreté
- Définir des éco-indicateurs pour comparer l'éco-efficience de la croissance des pays et identifier les politiques à mettre en place pour l'améliorer

Pour ce programme, la protection de l'environnement n'est plus considérée comme un frein au développement économique, mais bien comme un moteur. De même, la production n'est plus vue avec une approche linéaire, mais par une approche intégrée promue par l'Analyse du Cycle de Vie. L'éco-innovation aide à rendre possible cette évolution à travers des changements pouvant mener à des grandes améliorations environnementales. La récente crise économique et les négociations à propos des changements climatiques sont une bonne opportunité de tendre vers une économie verte en promouvant l'éco-innovation [OECD 2009]. La croissance économique étant un facteur-clé pour la réduction de la pauvreté, un des objectifs principaux du programme Green Growth est de s'assurer que les bénéfices de la croissance économique soient redistribués à la population, afin d'améliorer la qualité de vie des citoyens.

Notons que par leur nature, les Symbioses Industrielles tendent également vers l'écocoefficiency, qui est par définition un concept visant à minimiser l'impact environnemental des processus de production. De fait, elles ont un grand rôle à jouer dans le programme Green Growth.

2.4. Echec de l'aide au développement

La pauvreté est un fléau qui touche un bon tiers de l'humanité [UNO 2010], et elle est encore particulièrement présente en Afrique de l'Ouest. La communauté internationale tente d'y remédier depuis maintenant plus de soixante ans par l'aide publique au développement, sans obtenir de résultats convaincants. Bénéficiaires et donateurs considèrent la réduction de la pauvreté comme une priorité de la coopération internationale sans pour autant parvenir à s'accorder sur ses causes, ce qui implique des divergences quant aux mesures à entreprendre pour l'éradiquer.

En Afrique subsaharienne, l'aide n'est nettement pas parvenue à remplir ses objectifs puisque les experts estiment que l'Afrique est plus pauvre qu'il y a 20 ans [DDC 2002]. La dette extérieure des pays africains a universellement et dramatiquement augmenté depuis les années 1970 [Schümperli 2007]. Bien que l'on soit parvenu à quelques progrès dans les différents objectifs que s'est fixée la communauté internationale au travers des Objectifs du Millénaire [UNO 2010], l'Afrique subsaharienne présente un tableau peu réjouissant: 51% de la population vit avec moins de 1.25 dollar par jour; 40% des enfants ne terminent pas leur scolarité obligatoire; plus de la moitié des 30'000 enfants qui meurent chaque jour dans le monde sont d'Afrique subsaharienne; l'épidémie de SIDA sévit toujours avec ses conséquences sociales et économiques et seule 58% de la population a accès à l'eau potable [The World Bank 2009]. Ce tableau est encore assombri par le fait que le continent est en proie à une dizaine de conflits majeurs, l'épargne reste faible, les économies dépendent des exportations des matières premières et de leurs cours irréguliers et la corruption est très loin de cesser.

Après soixante ans d'aide au développement en Afrique, ces résultats très décevants permettent de constater son échec général. Un écart important existe entre les besoins de la population pauvre et les objectifs des élites politiques et des milieux économiques. Ainsi, il est rare que l'aide atteigne les buts qu'elle s'était fixée. Par ailleurs, les programmes d'aide au développement souffrent d'un manque de stratégie de développement économique au niveau de la politique des Etats ouest-africains. Cela s'explique notamment par le fait que les budgets des Etats sont largement basés sur l'aide internationale. En se développant, ils perdraient cette aide.

Face à de tels résultats, l'aide publique au développement de l'Afrique est dès lors régulièrement remise en question. Certains adoptent une position radicale prônant l'arrêt total de l'aide destinée à l'Afrique. L'économiste Dambisa Moyo dit que *"le résultat de l'aide, c'est une croissance plus lente, une pauvreté plus grande, et l'Afrique à l'écart du*

progrès économique". Paul Kagamé ajoute que *"quoiqu'on ait dépensé apparemment plus de 300 milliards d'aide sur notre continent [l'Afrique] depuis 1970, le bilan sur le plan économique et sur le plan humain est à peu près nul"*. Dambisa Moyo va même jusqu'à penser que *"[l'aide] n'est pas inoffensive, elle est malfaisante. Elle ne fait pas partie de la solution potentielle, elle fait partie du problème. En fait, l'aide est le problème"* [Moyo 2009]. Le père même de la notion d'aide au développement, le prix Nobel d'économie Gunnar Myrdal, a radicalement changé sa manière de voir le développement, au point d'estimer que l'aide n'est utile qu'en cas de catastrophe dans les régions les plus pauvres [Strahm 1985]. Ainsi le développement africain ne pourrait-il devenir réalité qu'au prix d'autres solutions comme une meilleure insertion dans le commerce mondial ou un changement des règles régissant l'économie mondiale.

D'autres expriment un avis plus nuancé, à l'image de l'économiste suisse Rudolph H. Strahm qui avance que l'aide au développement peut avoir comme effet soit de favoriser ce qu'il appelle le maldéveloppement soit de contribuer tout de même à un développement utile. Dans cet esprit, d'autres sont d'avis que l'aide doit subsister, voire être augmentée, mais qu'elle doit surtout être réorientée [Strahm 1985].

2.4.1. Les raisons de l'échec de l'aide publique au développement

Comme nous l'avons mentionné, il y avait en l'an 2000 deux fois plus de personnes en situation de pauvreté en Afrique subsaharienne que 20 ans plus tôt [Stiglitz 2006]. L'écart de richesse qui existe entre les nations développées et les pays en voie de développement n'a de cesse de se creuser et celui qui existe au sein même des différentes nations africaines est lui aussi loin de se résorber. L'aide ne semble fonctionner ni pour réduire la pauvreté absolue ni pour réduire l'écart de niveau de vie entre les différentes populations d'un même pays. En 1985, Strahm estime que seule 10 à 30% de la population des pays africains a pu profiter de l'aide au développement. Plus grave, il affirme que les organisations internationales, les rapports internationaux et les stratégies du développement négligent ce phénomène *"avec beaucoup de diplomatie"* [Strahm 1985]. En 2005, l'Afrique subsaharienne souffrait du plus gros écart de revenu au monde puisqu'il présentait le plus important coefficient de Gini⁶ [PNUD 2005]. La répartition des richesses de l'aide en Afrique semble donc se solder par un échec.

L'une des raisons données à cet échec est le faible pourcentage de l'aide attribué au secteur concernant les plus démunis et qui représente généralement la majeure partie de la population : l'agriculture. Entre 1978 et 1981, les 60% de la population vivant de l'agriculture dans les pays en développement n'ont reçu que 18% de toute l'aide internationale selon la FAO [Strahm 1985]. Aujourd'hui, l'activité mobilise moins de 10% des budgets nationaux en Afrique de l'Ouest alors qu'elle occupe 60% de la population [Fall

⁶ Le coefficient de Gini est une mesure du degré d'inégalité des salaires dans un pays. Sa valeur varie de 0 à 1, 0 indiquant que tous les salaires sont identiques, et 1 signifiant qu'une seule personne a tout le revenu et que les autres n'ont rien.

2009]. A titre de comparaison, l'Union Européenne consacre 42% de son budget aux agriculteurs alors qu'ils représentent 5% de la population.

Au lieu de cela, des investissements massifs de l'aide ont été dirigés dans les dépenses militaires et dans le développement de l'industrialisation selon des méthodes qui ont souvent eu pour effet de créer des îlots de développement au lieu de l'effet d'entraînement promis qui aurait dû aussi profiter à l'arrière-pays. La Banque Mondiale, en finançant des projets géants dans les secteurs de l'énergie, de l'irrigation, de la construction de routes, etc., a voulu préparer la voie à de futurs grands projets industriels et solliciter la venue des multinationales. Mais le résultat fut la création de pauvreté plutôt que le développement de l'Afrique. *" On a introduit le développement pour combattre la pauvreté et on s'est retrouvé à détruire des moyens de subsistance et à créer la misère"* [Sachs 2000]. Pour amorcer un développement économique, il faut créer *"un tissu économique de base constitué de centaines de milliers de petites activités rémunératrices et pérennes capables d'offrir aux entreprises leur premier marché solvable"*. Au lieu de cela, on reproche aux pays en développement de ne pas savoir entretenir les routes et les hôpitaux qui leur ont été construits. Mais si l'aide au développement ne met pas comme priorité la constitution d'un tissu économique de base, les pays en développement ne seront jamais capables d'entretenir les infrastructures [Baratier 2005].

Les mesures néolibérales imposées par le FMI et la Banque Mondiale ont eu de nombreuses conséquences négatives avérées sur les pays en voie de développement. En diminuant le rôle de l'Etat, ses prestations sociales sont aussi réduites, ce qui affecte les domaines de la santé, de la sécurité sociale et de l'éducation. En favorisant les exportations, l'autosuffisance alimentaire est fortement touchée, d'autant plus que le coût des denrées alimentaires du pays augmente car elles deviennent plus rares.

Ainsi, *"le FMI a souvent donné l'impression de penser davantage à secourir les créanciers occidentaux qu'à aider les pays en crise et leurs peuples"* [Moyo 2009]. En 2003, le FMI lui-même admet son échec en déclarant que dans de nombreux pays la libéralisation des marchés des capitaux n'a rien apporté de plus que de l'instabilité. Le FMI et la Banque Mondiale reconnaissent avoir été trop loin au niveau des conditionnalités et depuis quelques années, les deux institutions les ont réduites [Stiglitz 2006].

La politique de l'aide encourage la production de denrées pour l'exportation (café, cacao, arachide, coton), en partie afin que les pays puissent obtenir les devises suffisantes pour rembourser leurs dettes auprès des créanciers internationaux. *"Lorsque, dans les pays industrialisés, on parle de l'assainissement d'un pays endettés, cela se fait dans l'optique du pays créancier qui veut récupérer ses fonds"* [Moyo 2009]. Ce type d'intérêt fait oublier l'importance des cultures vivrières au profit des cultures d'exportation et a tendance à écarter l'aide au développement de son objectif initial : réduire la pauvreté.

L'aide devient source de paresse chez les dirigeants et fonctionnaires des Etats africains. En tant que sorte de revenu permanent, elle sape toute initiative et motivation de la part de ces

derniers. Pourquoi faire l'effort d'obtenir de bons résultats de développement si c'est pour ensuite perdre une source de revenu facile? Ainsi, beaucoup de ministères se plient aux règles qu'on leur impose pour les prêts en formulant des stratégies de développement, mais lorsqu'il s'agit de passer à la pratique, peu de résultats sont visibles.

Du côté africain, certains auteurs estiment que le sous-développement est "*le produit des manigances et de la malveillance de puissances extérieures déterminées à les maintenir dans un état de sujétion*" [Kabou 1991]. Si l'on écoute les revendications des leaders paysans des pays africains ou certains chefs d'Etat comme Sankara, décédé après trois ans de pouvoir, on comprendra que leur message est de demander aux populations du Nord de laisser les pauvres tranquilles et de ne pas leur parler de développement [Latouche 2007]. Le développement serait un concept occidental pas forcément applicable au Sud. Pour Kabou, "*aider l'Afrique à se développer, c'est d'abord l'encourager à créer des conditions psychologiques de réceptivité du changement ; c'est favoriser l'émergence d'un débat résolument décomplexé sur la volonté de développement [des africains]*" [Kabou 1991].

Le principe de l'accumulation du capital et de l'investissement dans l'outil de travail ne sont pas des pratiques africaines et sont pourtant à la base des stratégies de développement économique. En Afrique, celui qui a des richesses doit les redistribuer à sa famille. Garder de l'argent pour créer une entreprise c'est aller à l'encontre des règles sociales [Baratier 2005]. Ainsi, le développement sera rarement efficace lorsqu'il est vu comme le calque d'un modèle d'un pays sur un autre car il faut prendre en compte le contexte dans lequel il s'insère et faire participer la population concernée par le problème car finalement, le développement est l'affaire des peuples eux-mêmes, avec leur culture et leur intelligence.

2.5. *Echec des stratégies politiques de développement économique en Afrique de l'Ouest (Burkina Faso)*

Dans ce contexte, et dans le cadre de notre question de recherche qui est centrée sur le potentiel des Symbioses Industrielles en Afrique de l'Ouest, j'ai choisi d'étudier les stratégies de développement économique mises en place par le gouvernement d'un pays ouest-africain. Le Burkina Faso a été choisi pour mener cette enquête. En effet, je suis familière avec ce pays et j'y ai déjà un réseau de connaissances personnelles me permettant d'avoir accès à certains directeurs généraux des ministères.

2.5.1. Entretiens

Suite au constat d'échec de l'aide au développement pour réduire la pauvreté, nous pouvons nous demander quelles sont les stratégies de développement économique que suivent les pays ouest-africains, comment ce développement est planifié à moyen et long terme et comment les Etats voient leur avenir.

Dans le cadre de cette recherche de thèse, une enquête de terrain a été réalisée fin 2007 – début 2008 au Burkina Faso, afin de répondre à ces questions. Huit personnes ont été interrogées au sein des ministères du gouvernement, de l'université, des entreprises

industrielles et de la communauté internationale (PNUD). Ce n'est bien entendu pas suffisant pour établir une statistique représentative pour le Burkina Faso, et encore moins pour l'Afrique de l'Ouest. Cependant, sur la base de la connaissance du terrain ces entretiens donnent une bonne vision générale des enjeux, comme nous allons le voir.

Les entretiens avaient pour objectif de déterminer comment le développement économique du pays est planifié, et quel potentiel peuvent amener les Symbioses Industrielles. Il s'agit ainsi d'avoir accès aux documents légaux ainsi qu'à l'information sur les processus mis en place pour atteindre ces objectifs. Je souhaitais également déterminer la place du développement industriel et de l'entrepreneuriat dans ce processus de développement ainsi que les perspectives à moyen et long terme.

Le compte-rendu des entretiens est donné en annexe 1.

Les personnes interrogées sont les suivantes.

Ministères :

1. Le Directeur général du développement industriel, du Ministère du commerce, de la promotion de l'entreprise et de l'artisanat : M. Adama Traoré
2. Le Directeur des évaluations environnementales, du Ministère de l'environnement et de l'amélioration du cadre de vie, M. Denis Toé
3. Le Directeur général des productions végétales, du Ministère de l'agriculture de l'élevage et des ressources halieutiques : M. Robert M. Ouedraogo

Université :

4. Un professeur d'économie à l'Université de Ouagadougou : M. Abdoulaye Zonon. Il est également macroéconomiste au CAPES – Centre d'analyse des politiques économiques et sociales, 1^{er} Ministère.

PNUD :

5. Une spécialiste en Environnement, à l'Unité Environnement et Energie du PNUD – Burkina Faso : Mme Aki Kogachi
6. Un économiste national, au Département de politique et stratégies du PNUD – Burkina Faso : M. Alain Sidi

Industriels :

7. Un consultant dans le domaine coton et industrie : M. Roger Dié Paré. Cette personne connaît très bien la situation burkinabée et est en lien avec Dagrif, tout en ayant une vision plus large du secteur industriel de ce pays.
8. Le Directeur industriel de SN-Citec (production d'huile de coton), Bobo-Dioulasso, Burkina Faso : M. Jean-Claude Monthubert.

2.5.2. Analyse des entretiens

Les entretiens réalisés nous permettent de faire le point sur la stratégie de développement économique et industriel du Burkina Faso, sur les bases de la politique économique, sur les enjeux de l'aide au développement et sur l'avenir du secteur informel. Cela nous permettra de revenir sur le constat que le pays est constitué de deux couches de population dont les besoins et les objectifs sont diamétralement opposés.

Stratégie de développement économique et industriel

Il existe une stratégie de développement économique et industriel, rédigée et adoptée par le Conseil des Ministres en 1998 [DGI 1998]. Elle décrit 12 filières à développer prioritairement⁷. Il s'agit de filières de matière, et non de secteurs économiques. On n'y trouve donc par exemple pas le secteur du tourisme⁸. Son but est de promouvoir l'industrie, en définissant les rôles des différents acteurs (par exemple accompagnement technique, pilotage et coordination, identification des contraintes, ou ajustement structurel). Elle s'appuie particulièrement sur la promotion d'unités industrielles de petite taille qui ont l'avantage de pouvoir s'implanter sur tout le territoire sans difficulté majeure.

Il existe par ailleurs une étude sur la vision prospective et stratégique du Burkina Faso pour 2025, rédigée en l'an 2000 [MED 2000]. Elle a fait l'objet d'une évaluation et d'un nouveau rapport en 2005 [GOEP 2005]. Ces deux rapports présentent une vision de l'avenir du Burkina Faso basée sur quatre fondements : une nation solidaire, une nation qui progresse, une nation de justice et une nation qui consolide son respect sur la scène internationale. Pour que la nation progresse, ces rapports proposent de se baser sur quatre piliers :

- la mise en place des infrastructures et mécanismes de soutien au commerce
- l'accès des acteurs économiques aux ressources
- l'amélioration du niveau de revenu des populations
- l'amélioration de la qualité de vie des burkinabés.

Ces rapports sont très intéressants et les propositions très judicieuses. Il semble cependant que leur diffusion soit limitée et que les personnes qui les connaissent ne souhaitent pas les mettre en œuvre. Personne n'estime être en mesure de réaliser ces projections.

Il existe par ailleurs de nombreux autres rapports stratégiques sur la réduction de la pauvreté [MED 2004b, 2004a, 2005], sur les pôles stratégiques [CAPES 2007], sur la coordination de l'aide au développement [Gouvernement du BF 2004], ou le programme d'actions pour le développement [MEF/DGEP 2001].

⁷ Les douze filières sont les filières "coton", "céréales", "fruits et légumes", "oléagineux", "lait", "viande", "cuirs et peaux", "fabrication et ouvrages en métaux", "polymères : caoutchouc et plastique", "carrières et matériaux de construction", "produits chimiques : engrais et produits phytosanitaires", "produits pharmaceutiques".

⁸ Mais pas non plus les secteurs "construction", "routes et infrastructures", "menuiserie", "production d'électricité", "production et gestion de l'eau", "industrie hôtelière", "industrie de la restauration", "entreprises de conseil"...

Tous ces documents sont souvent très bien rédigés, mais semblent malheureusement rester lettre morte quand il s'agit de les mettre en œuvre. Ces stratégies datent d'une bonne dizaine d'années et n'ont pas été mises à jour depuis. Elles ne sont vraisemblablement pas appliquées et ne servent pas de feuille de route au gouvernement. Nous le comprendrons encore mieux par la suite, mais nous voyons là que ces beaux documents ont certainement été produits pour satisfaire les demandes des bailleurs de fond (FMI, Banque Mondiale et autres créanciers) en vue de renouveler leur soutien financier. Ces documents permettent de montrer que le pays est un bon élève et qu'il fait des efforts pour son développement économique et industriel. Mais comme le dit M. Paré, *"les ministres n'ont pas le temps de réfléchir et d'élaborer des stratégies, ils sont toujours dans l'action"*.

Par ailleurs, comme nous le verrons par la suite, la classe politique n'a pas forcément intérêt à ce que le pays se développe et que la qualité de vie de la population s'améliore, car elle perdrait ainsi l'important soutien de l'aide au développement, qui constitue entre 40% et 80% du budget national selon les sources!

Base de la politique économique

Selon l'interview de M. Zonon, le développement économique du Burkina est basé sur la captation des financements de l'aide internationale au développement, et non sur la promotion du secteur industriel et de l'entrepreneuriat. Juridiquement, le pays ne soutient pas l'exportation, mais soutient au contraire l'importation de produits. Il ne soutient pas non plus le développement de secteurs industriels agro-alimentaires qui auraient pour fonction de transformer les matières premières produites dans le pays avant de les exporter, et donc d'y ajouter de la valeur. La seule filière réellement soutenue par l'Etat est le coton. Ainsi s'ils veulent avoir une culture de rente, et profiter d'un marché organisé, les paysans n'ont pas d'autre choix que de produire du coton.

Les conséquences sont que le pays n'a pas intérêt à se développer s'il veut toujours attirer l'aide au développement. Il n'a donc aucun intérêt à attirer les investisseurs privés ni à favoriser l'auto-développement et l'entrepreneuriat. Il ne fait donc rien en ce sens.

Il est vrai que le Burkina Faso est un pays qui a très peu de ressources et de richesses. Il n'y a pas ou peu de ressources minières, et le climat et le sol ne sont pas favorables aux grandes cultures industrielles. Une grande partie du PIB provient de l'exportation du coton⁹, mais rien n'est fait pour développer et soutenir les activités de transformation ayant une valeur ajoutée.

Par ailleurs, le Burkina Faso est au centre de l'Afrique de l'Ouest. Il pourrait profiter de cette situation pour jouer un rôle important de croisement des routes commerciales pour centraliser les marchés de cette région, à l'image de la Suisse en Europe. Mais de nombreuses raisons l'en empêchent, et en particulier la mauvaise qualité de toutes ses infrastructures (routes, électricité, aéroport, transport, etc).

⁹ Le coton constitue 60% des recettes d'exportation, participe pour 25% au PIB et fait vivre environ 2 millions de Burkinabé sur les 8 millions que compte le pays. [Faso Dev 2006]

Le développement économique et industriel du pays ne passera donc pas par la volonté politique de ses dirigeants actuels.

Société à deux vitesses de développement

En caricaturant un peu, il y a deux parties principales à la population du Burkina Faso :

- La partie des magistrats et la haute couche de la société, qui vit avec de bons salaires, avec un niveau de vie "européen". Cette partie a les pouvoirs et dirige le pays... sans vraiment se soucier de la deuxième partie de la population.
- La partie population rurale vit au jour le jour des fruits de ses récoltes, mais peine à nouer les deux bouts, payer les frais médicaux, l'écolage des enfants et se nourrir tous les jours. Cette partie de la population est "sous-développée" et attire la solidarité internationale pour lutter contre la malnutrition, favoriser la place de la femme dans la société, trouver des microcrédits, développer l'éducation par la construction d'écoles, etc. La vie étant difficile dans les campagnes, il y a un grand exode rural des jeunes vers les villes et également vers les pays industrialisés.

La partie dirigeante reçoit l'aide au développement destinée à élever le niveau de vie de la population rurale. Mais comme dit précédemment, ils ont tout intérêt à ce que cette population ne se développe pas pour pouvoir toujours recevoir l'aide internationale...

Entre ces deux extrêmes, il y a une toute petite partie de la population que l'on nomme classe moyenne. Cette partie instruite de la société est celle qui cherche à développer le pays. Ils ne sont pas nombreux, et cette couche de la population est très fragile (dans le sens où il n'est pas exclu que l'acquisition de nouveaux pouvoirs fasse changer une personne et qu'elle s'identifie à la couche développée et s'en satisfasse...). Certainement, les personnes concernées sont les personnes instruites mais qui sont relativement mal payées par rapport au nombre d'années d'études effectuées : les enseignants, les médecins, ... Ainsi, il y a également un risque important que cette partie de la population parte à l'étranger trouver de meilleures conditions de travail.

Cet écart entre les deux couches de la population n'est pas nouveau. Il existait déjà au temps de l'esclavage. L'historien Ibrahima Thioub fait en ce sens un parallèle très juste entre l'esclavage du temps du colonialisme et l'asservissement actuel des populations aux élites africaines [Thioub 2010]. Selon lui, *la traite ne se limitait pas à la vente de Noirs à des Blancs dans des ports africains. Elle englobe la manière dont les esclaves étaient "produits" à l'intérieur du continent et acheminés sur la côte. Ce système Atlantique était une organisation globale, qui mettait en relation dans un partenariat asymétrique mais intéressé, les compagnies européennes avec des élites africaines. [...] A l'époque, les compagnies européennes apportaient en Afrique des biens aussi destructeurs qu'inutiles, comme la verroterie, l'alcool et les armes. Elles les remettaient aux élites qui organisaient la chasse aux esclaves. Déjà, le pillage permettait aux élites d'accéder aux biens de consommation importés. [...] A l'époque de la traite négrière, l'alcool et les fusils achetés aux Européens leur permettaient de se maintenir au pouvoir. Désormais ce sont les 4x4 et les kalachnikovs.*

[...] Aujourd'hui, le système s'est perfectionné puisque les esclaves se livrent eux-mêmes : ce sont les émigrés. [...] Le système de prédation [des élites] ruine les campagnes et contraint les populations à s'exiler. Au point qu'aujourd'hui, si vous mettez un bateau dans n'importe quel port africain et proclamez que vous cherchez des esclaves pour l'Europe, le bateau va se remplir immédiatement.

Certes ce système fonctionne au bénéfice des multinationales, mais il n'existerait pas sans des élites africaines. [...] L'Afrique est le seul continent où la majorité de la population n'a pas envie de rester.

En conséquence, nous pouvons conclure cette partie d'analyse en disant que le développement économique de l'ensemble du pays n'est pas souhaitable pour les dirigeants du pays. Cet état des faits semble être parfaitement connu des organismes internationaux d'aide au développement présents sur place, sans que cela ne soulève la moindre réaction. En effet, ceux-ci doivent collaborer avec les pays et leurs gouvernements, et ne pas s'interposer entre le gouvernement et son peuple. Il semble donc très peu probable que la pauvreté diminue par ces voies-là.

Tissu industriel – problèmes liés à l'économie informelle – bases légales

Les entretiens menés avaient également pour but d'avoir une vision d'ensemble du tissu industriel du pays et du potentiel de développement qui y est lié. Nous constatons que le Burkina Faso est un pays très faiblement industrialisé. Le secteur primaire est le secteur le plus important (agriculture de subsistance, culture du coton, élevage).

Le secteur secondaire officiel (formel) est principalement constitué par un très petit nombre d'entreprises agro-alimentaires et d'infrastructures :

- SOSUCO (production de sucre à base de canne à sucre),
- SN-Citec (huilerie industrielle à partir de graines de coton),
- Sofitex (égrenage du coton),
- Production de fruits séchés etc,
- ONEA (entreprise d'Etat pour la production d'eau),
- SONABEL (entreprise d'Etat pour la production et la fourniture d'électricité),
- Entreprises de tannage du cuir,
- Entreprises générales de construction et de transport.

Le secteur secondaire est également composé d'un nombre important de petites entreprises informelles de quelques employés dans tous les domaines (huileries, couture, restaurants, scieries, mécaniciens, artisanat, ...). Ces entreprises ne sont pas déclarées et ne payent pas d'impôts ou de taxes, elles ne sont pas fédérées ni répertoriées. Ces activités sont souvent développées avec les moyens du bord, sans optimisation des flux de matières, et donc souvent avec de mauvais rendements et sources de pollutions non contrôlées. Elles représentent donc une grande source d'optimisation possible et d'amélioration des flux.

Le secteur tertiaire est dominé par les entreprises de téléphonie mobile, qui est un secteur complètement nouveau et en pleine expansion.

Les bases légales ne sont pas en faveur d'un développement industriel. En effet, les démarches nécessaires pour déclarer son activité sont très compliquées, coûtent très cher et n'apportent pas d'avantage. Les entreprises déclarées sont ensuite taxées de toutes les manières possibles. Il faut donc avoir une activité très rentable ou avoir développé un réel site industriel pour se déclarer. Dans tous les cas, il n'y a aucun avantage à déclarer son activité!

Les conséquences de ceci sont que les flux de matière régionaux et d'entreprise ne sont pas connus et qu'il n'y a pas d'organe qui coordonne toutes les entreprises. Une démarche d'Ecologie Industrielle, basée sur un parc éco-industriel ou mise en place sur la base de connaissances précises des flux de matière substituables comme nous la concevons en Europe, ne serait donc pas possible.

Par contre d'autres démarches inspirées des Symbioses Industrielles pourraient se mettre en place et servir au développement de la population rurale.

2.6. Les entreprises, un potentiel pour le développement en Afrique de l'Ouest

La réduction de la pauvreté et de la misère reste une priorité pour de nombreux acteurs internationaux. Si la population locale ne peut pas attendre une aide efficace gérée par l'Etat, ni une stratégie politique efficace et indépendante, l'Ecologie Industrielle offre cependant d'autres perspectives. Par la création de Symbioses Agro-Industrielles, de nouveaux horizons s'offrent à certaines populations rurales, particulièrement plus concernées par les problèmes de pauvreté. Les Symbioses Industrielles peuvent alors être vues sous l'angle de leurs conséquences sociales en perspective de leur potentiel pour le développement, et non plus uniquement sous l'angle technique, tel que cela a généralement été le cas jusqu'ici dans les pays industrialisés.

2.6.1. Perspectives des Symbioses Agro-Industrielles

Nous avons constaté l'échec de l'aide au développement en Afrique de l'Ouest. Nous avons également été confrontés au manque de vision politique pour le développement économique.

L'industrialisation programmée dans les années 1970 n'a pas eu lieu en Afrique et il n'y a pas eu de décollage économique. La pression des dettes de l'Afrique pousse les Etats à subventionner les cultures d'exportations en vue d'obtenir des devises étrangères. Mais pour permettre à la majorité du peuple de vivre et se nourrir, les cultures vivrières sont essentielles, autant que les moyens d'investir pour mettre en place des infrastructures de base.

Il n'est pas dans la culture africaine de mettre de l'argent de côté et d'épargner. Par nécessité de survie plus que par choix, les besoins urgents du quotidien sont abordés en premier, et les

bénéfices dégagés doivent souvent être partagés avec la famille et les proches qui en ont besoin.

La présence industrielle est particulièrement faible dans les zones rurales d'Afrique de l'Ouest. Cela donne aux industries existantes d'autant plus de poids et d'importance. Elles sont donc des acteurs très importants du développement économique local, souvent soumis à des attentes par la population locale.

Cependant nous constatons également que dans la majorité des cas, les entreprises implantées en milieu rural n'ont pas engendré d'amélioration durable du niveau de vie. Comme nous allons le voir, les entreprises proviennent généralement d'investissements étrangers qui n'ont rien d'une agence de développement. Elles se considèrent donc souvent comme une entité partiellement séparée du milieu social dans lequel elles sont implantées. La conséquence de ceci est que la gestion des relations avec la population locale manque de perspective à long terme. On s'empresse de parer aux besoins à l'instant où ils se présentent, afin de garantir la sécurité de l'entreprise et garder une relation acceptable avec cette population, dans l'espoir d'investir toujours le minimum. Même lorsqu'un budget est prévu à cet effet, la vision reste souvent à court terme ou basée sur des projections par l'entreprise des moyens adéquats pour résoudre les problèmes de pauvreté.

Dans ce contexte, les concepts de l'Ecologie Industrielle offrent de nouvelles perspectives. De par leur taille et leur pouvoir, les grandes entreprises entretiennent généralement des relations paternalistes avec les populations locales des régions peu développées. Les Symbioses Agro-Industrielles permettent d'imaginer un changement de paradigme et d'entrevoir la possibilité de relations contractuelles et basées sur le partenariat.

Les effets des relations paternalistes sont un manque de responsabilisation de la population locale face à son propre destin et une relation de dépendance basée sur un dû : la population estime qu'elle a droit à une retombée du succès économique de l'entreprise sans qu'elle n'ait rien à faire en retour.

Une relation partenariale basée sur un contrat pourrait présenter des atouts. En effet, dans un partenariat, chacun des partenaires a des avantages, mais également des devoirs. Il faut une vision commune et des intérêts mutuels. Si l'un des partenaires n'est plus bénéficiaire, il peut rompre le contrat. Cela a comme conséquence une responsabilisation de chacun des partenaires à tenir ses engagements.

Les Symbioses Industrielles sont généralement réalisées pour leurs avantages économiques et environnementaux. Dans les pays en développement, encore plus que dans les pays industrialisés, les conséquences sociales de la création de Symbioses Industrielles pourraient être un moteur pour leur mise en place.

La création de Symbioses Agro-Industrielles apporte l'espoir de nombreuses conséquences positives, autant bien économiques que sociales et environnementales. Pour la population locale, il s'agit notamment :

- De valoriser l'activité agricole comme source de revenu, avec comme conséquence qu'elle apporte plus de soin à maintenir la fertilité du sol et à lutter contre l'érosion
- D'acquérir de nouvelles connaissances techniques agricoles
- D'acquérir l'accès à une culture de rente complémentaire aux cultures vivrières, ainsi que la garantie de pouvoir vendre cette culture
- D'établir une fédération des paysans par la création d'associations ayant pour but un réseau de diffusion des enseignements et de centralisation des récoltes. Ces associations peuvent être le lieu de création de projet de groupe, mais n'en sont pas la condition.
- D'acquérir petit à petit une plus grande indépendance et diminuer la vulnérabilité aux risques climatiques
- D'instaurer un climat de confiance lié à la transparence des relations commerciales.

Mais il y a également des risques :

- Monoculture et autres risques liés à l'agriculture: pollution des eaux, usages d'intrants inadaptés, utilisation de semences liantes (OGM par exemple), ...
- Echec du partenariat, qui aurait pour conséquence de détruire la relation de confiance créée et pourrait provoquer de plus grandes tensions avec l'entreprise.
- Faillite de l'entreprise, délocalisation, ...

La mise en place d'une Symbiose Industrielle peut être très positive mais nécessite une volonté de part et d'autre, ainsi qu'une stratégie de réalisation adaptée. Le chapitre 3 donnera plus de détail sur les Symbioses Industrielles, leur mise en œuvre et leur existence dans les pays en développement.

2.6.2. Création de partenariats

La création de Symbioses Industrielles est un moyen de créer des partenariats. D'autres expériences ont montré la nécessité pour les entreprises du secteur primaire et secondaire de passer d'une relation paternaliste avec la population locale à une relation partenariale.

A titre d'illustration, je discuterai ci-dessous l'exemple de l'entreprise Alcan au lac St-Jean au Canada [Labelle and Pasquero 2006].

Secteur primaire et population locale

Le secteur privé, et en particulier les usines de production de matière première, est habitué à traiter des objectifs d'ordre économiques et financiers, techniques et technologiques, de production et éventuellement des objectifs environnementaux. Tous ces domaines sont qualifiables de "scientifiques" et quantifiables par des règles et des lois établies et communément acceptées. Les relations que ces usines gèrent bien sont les relations économiques avec leurs fournisseurs et clients.

La production de matière première implique par définition une implantation locale et l'extraction d'un bien naturel. La propriété et l'usage ou l'exploitation de ce bien est généralement gérée par une convention entre l'entreprise et l'Etat nommé droit d'usage

[Knoepfel and Nahrath 2005, p.217]. Cette réglementation définit de manière précise les modalités d'usage : droits (quantité/quota, durée du droit, usagers autorisés), et devoirs (rétribution et rétrocession d'intérêts, lois environnementales à respecter, impôts et taxes).

Cependant dans la réalité quotidienne, l'entreprise doit gérer ses relations avec la population locale, qui peut être plus ou moins en accord avec sa présence et l'exploitation qu'elle réalise. Les désaccords entre ces deux parties peuvent porter sur les aspects environnementaux (en particulier si l'entreprise est source de grandes nuisances ou épuise une ressource), mais également sur la question de la légitimité de l'exploitation de la matière première et/ou la redistribution des fruits de cette exploitation (notamment dans les pays en voie de développement, où il est rare que les taxes et impôts payés par l'entreprise à l'Etat soient utilisés et redistribués pour le développement local et des infrastructures).

Ainsi, bien que le développement local ne soit généralement pas l'objet de travail des entreprises de production de matières premières, elles sont souvent confrontées à la nécessité de gérer ces relations, tant bien que mal.

Dans les pays industrialisés, les questions environnementales sont généralement cadrées par les lois sur la protection de l'environnement. Il revient à l'Etat de les faire respecter, ce qui est généralement le cas. Lorsque ces lois ne sont pas respectées et que l'Etat n'est pas en mesure d'intervenir, il n'est pas rare que des négociations soient nécessaires entre la population locale et l'entreprise. Comme le mentionnent Knoepfel et Nahrath [2005], les objectifs des réglementations environnementales sont majoritairement de limiter les émissions polluantes, ceci pour des raisons historiques (lois basées originellement sur le droit de voisinage). Elles ne gèrent généralement pas la question de l'épuisement de la ressource exploitée, qu'elle soit renouvelable ou non. Il y a donc un risque de "surexploitation propre", et donc un risque de conflits entre les différents usagers autorisés (à savoir, par exemple la population locale et l'entreprise exploitante) pour déterminer lequel est le plus légitime.

En ce qui concerne la question de la redistribution des richesses pour le développement local, les grandes entreprises ont tout avantage à investir dans ce domaine, que ce soit dans les pays industrialisés ou non. En effet, ils investissent notamment dans la formation continue et autres faveurs sociales pour les employés, mais également dans des infrastructures et le soutien culturel. C'est pour l'entreprise un investissement sur le long terme lui permettant de trouver par la suite des employés formés de qualité ainsi qu'un lieu de vie intéressant pour eux.

Dans les pays en voie de développement, les choses sont un peu différentes. Souvent, les lois contraignantes en matière d'environnement soit n'existent pas, soit elles existent mais l'Etat n'est pas en mesure de les faire respecter. Il peut en résulter de grandes pollutions et une grande détérioration du milieu naturel local, voire régional. Au niveau de la participation au développement local, les entreprises ont souvent une approche de type paternaliste, certainement héritée de stratégies de responsabilité sociétale anciennes. Afin d'assurer un certain calme et une sécurité locale, l'entreprise est ainsi le pourvoyeur de biens et services qui correspondent aux besoins locaux mais ne demandent pas ou peu d'implication de la population. Ainsi des écoles et des dispensaires sont construits, des

réseaux d'eau courante et d'électricité mis à disposition, des programmes d'éducation à l'hygiène ménagère et de sensibilisation au VIH/SIDA sont menés, etc. Après de nombreuses années, on constate que les résultats de ce type d'actions sont assez limités. En effet, ces investissements n'ont pas pour objectifs d'assurer un développement économique, et il est rare de voir un réel développement de la population locale.

Passer du paternalisme au partenariat : l'expérience positive d'Alcan

Certaines entreprises de production de matières premières gèrent leurs relations avec la population locale à travers leur programme de Responsabilité Sociétale d'Entreprise (RSE). Dans ce domaine, une expérience instructive est présentée par Labelle et Pasquero [2006]. L'entreprise Alcan au Canada, productrice d'aluminium, a été confrontée à des relations conflictuelles avec la population du Lac St-Jean. Les auteurs analysent cette expérience, en font ressortir les points-clés et montrent comment une solution sur le long terme a pu être trouvée. Sur une période de 40 ans, cette entreprise a changé de paradigme et passé du paternalisme à la "durabilité". L'expérience présentée dans cet article se passe dans un pays industrialisé, mais est cependant riche en enseignements car l'entreprise est implantée dans une région peu développée et part d'une relation paternaliste avec sa population locale qui est contestée au cours du temps. Quatre phases se sont succédées:

- Une première phase (de 1920 à 1960) est basée sur une convention imposée par l'entreprise, de manière paternaliste.
- Une seconde phase (milieu des années 1970) est marquée par la contestation. L'entreprise, grande utilisatrice de ressources naturelles est pointée comme l'exemple type de l'exploiteur capitaliste. La relation s'exprime en terme dominants-dominés. Les activistes locaux estiment insuffisantes les retombées régionales en regard des privilèges consentis à Alcan.
- Dans la troisième phase (milieu des années 1980), l'insatisfaction à propos de la convention initiale est réciproque. La population locale et Alcan sont d'accord sur ce point. L'entreprise souhaite mettre fin à cette relation paternaliste et que la communauté prenne son destin en mains. Des négociations sont entamées sur la gestion "civique" des biens naturels locaux, mais n'aboutissent pas.
- Dans la quatrième phase (milieu des années 1990) une convention des responsabilités sociales d'Alcan est négociée, fondée sur la coordination de partenariats à durée limitée. Une nouvelle relation de confiance est établie et Alcan ne joue plus le rôle de "père de famille", mais plus celui de "grand frère" de la région. De nombreux intervenants demandent à Alcan de jouer le rôle d'élément déclencheur, ou d'incubateur, pour dynamiser le milieu. La collectivité n'attend plus d'Alcan qu'elle soit la seule responsable du développement régional et a créé des "comités partenariaux" dans lesquels les relations régionales sont gérées.

Cette expérience d'Alcan montre qu'une nouvelle conception des relations entre l'entreprise et son environnement est possible, mais prend du temps à s'établir et nécessite une volonté commune de changement avec des moyens de pressions des deux côtés. La négociation

passé alors du modèle de pouvoir (dominant-dominé) au modèle de partenaire où la confiance prime. Dans le modèle proposé ce n'est pas la défense de positions qui compte, mais la gestion d'interactions mutuellement avantageuses. Et le souci de collaboration l'emporte sur celui de victoire individuelle. Il ressort de cette expérience que pour que la relation entreprise-population soit porteuse de fruits, elle doit se baser sur une relation partenariale.

La mise en place de Symbioses Industrielles est un autre moyen d'établir des relations partenariales, comme nous le verrons dans les prochains chapitres.

2.7. Conclusion

Dans ce chapitre, j'ai présenté les bases du développement durable. En effet, ce cadre conceptuel nous servira de fil rouge tout au long de ce travail de doctorat. Il pose comme fondement qu'un développement qui se veut respectueux des générations présentes et à venir doit s'appuyer sur les trois piliers que sont le progrès économique, la justice sociale et la préservation de l'environnement.

J'ai également fait l'état du développement en Afrique de l'Ouest en présentant l'histoire de l'aide au développement et les différentes stratégies actuellement déployées dans cette optique. Malgré une grande diversité de mécanismes et d'objectifs, nous constatons que cette région du monde n'a que très peu profité de l'aide internationale. J'ai montré par des enquêtes de terrain que les budgets des gouvernements étant largement dépendants de l'aide internationale, ces derniers n'ont pas intérêt à ce que leurs pays se développent sous peine de voir cette aide disparaître. Les populations rurales ne peuvent donc attendre que peu de stimulation de leur développement par ces mécanismes.

J'ai alors montré que l'Ecologie Industrielle amène de nouvelles perspectives très intéressantes, qui seront développées au chapitre suivant. Cependant l'application des concepts d'Ecologie Industrielle n'est pas une garantie que l'on va vers un développement durable. C'est pourquoi le chapitre suivant abordera également toute la question de l'évaluation de la durabilité et présentera les outils principaux permettant d'évaluer des projets sous cet angle.

2.8. Bibliographie

- Baratier, J. (2005). L'entreprise contre la pauvreté: la dernière chance du libéralisme. 186p Paris, Editions Autrement.
- Beigbeder, Y. (1992). Le rôle international des organisations non gouvernementales. 195p Bruxelles, Bruylant.
- Brundtland, G. H., Khalid, M., Agnelli, S., Al-Athel, S. A., Chidzero, B., Fadika, L. M., Hauff, V., Lang, I., Shijin, M., Marino de Botero, M., Singh, N., Nogueira-Neto, P., Okita, S., Ramphal, S. S., Ruckelshaus, W. D., Sahnoun, M., Samil, E., Shaib, B.,

- Solokov, V., Stanovnik, J. and Strong, M. (1987). *Our common future (Brundtland-Report)*. Oxford, World Commission on Environment and Development: 318
- Brunel, S. (1997). *La coopération Nord-Sud*. 128p Paris, Presses universitaires de France.
- CAPES (2007). *Pôles de compétitivité régionale au Burkina Faso, Rapport provisoire*. Ouagadougou, Centre d'Analyse des Politiques Economiques et Sociales: 204
- DDC (2002). *Partenaires en Afrique. Quelle coopération pour quel développement? Ecrits sur le développement*. Berne, Direction du développement et de la coopération, Administration Suisse. **5**: 233
- DGDI (1998). *Stratégie de développement industriel, Synthèse*. Direction générale du développement industriel - Ministère du commerce de la promotion de l'Entreprise et de l'Artisanat - Burkina Faso: 17
- Fall, N. (2009). "Les Américains ne sont pas plus compétitifs que nous." *Un seul monde* **2/2009**(juin): p.12-13
- Faso Dev. (2006). "Page web : L'économie du Burkina." Retrieved 25 février 2011, from <http://faso-dev.net/Economie-du-Burkina.html?page=static>.
- Gay, M. (2007). *Localisation par Satellite et Gestion des Territoires Agricoles*. *Forum International Tech For Food*, 6 mars 2007. Paris: 8
- GOEP (2005). *Etude nationale prospective "Burkina 2025", Rapport général*. Conseil national de prospective et de planification stratégique - Groupe opérationnel d'experts de l'étude prospective. Ouagadougou: 148
- Gouvernement du BF (2004). *L'expérience du Burkina Faso en matière de coordination de l'aide publique au développement. Atelier international sur les instruments de gestion de l'aide - Des réponses aux questions d'harmonisation et d'alignement. Organisé par le PNUD, 13-15.9.2004*. Ouagadougou
- Kabou, A. (1991). *Et si l'Afrique refusait le développement?* 208p Paris, L'Harmattan.
- Knoepfel, P. and Nahrath, S. (2005). *Pour une gestion durable des ressources urbaines: des politiques de protection de l'environnement vers les régimes institutionnels de ressources naturelles (RIRN)*. In *Enjeux du développement urbain durable. Transformations urbaines, gestion des ressources et gouvernance*. Da Cunha, A., Knoepfel, P., Leresche, J.-P. and Nahrath, S. Lausanne, PPUR: 199-255.
- Kouable, N. (2007). *Mieux commercialiser : les réseaux de systèmes d'information des marchés*. *Forum international Tech For Food*, 6 mars 2007. Paris: 7
- Labelle, F. and Pasquero, J. (2006). "Alcan et le "paRTenalisme" : les mutations d'un modèle de responsabilité sociale au cours du XXè siècle." *Entreprises et Histoire* **Décembre 2006**(45): p.74-96
- Latouche, S. (2007). *Petit traité de la décroissance sereine*. 171p Paris, Mille et une Nuits.
- Lazar, M. (2007). *Les criquest pèlerins ravageurs de culture : amélioration des moyens de collecte, transmission et d'analyse des données*. *Forum International Tech For Food*, 6 mars 2007. Paris: 6

- Meadows, D. H., Meadows, D., Randers, J. and Behrens, W. (1972). The limits to growth. A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind. 205p London, Universe Books.
- MED (2000). *Etude nationale prospective Burkina 2025, rapport sur la vision prospective et les stratégies.* Ministère de l'Economie et du Développement du Burkina Faso. Ouagadougou: 91
- MED (2004a). *Cadre stratégique de lutte contre la pauvreté.* Ministère de l'Economie et du Développement du Burkina Faso. Ouagadougou: 139
- MED (2004b). *Programme d'actions prioritaires de mise en oeuvre du cadre stratégique de lutte contre la pauvreté 2004-2006.* Ministère de l'Economie et du Développement du Burkina Faso. Ouagadougou: 129
- MED (2005). *Cadres stratégiques régionaux de lutte contre la pauvreté. Note de Synthèse.* Ministère de l'Economie et du Développement du Burkina Faso. Ouagadougou: 196
- MEF/DGEP (2001). *Exposé du Gouvernement du Burkina Faso. Programme d'action pour le développement du Burkina Faso (2001-2010).* Troisième conférence des Nations Unies sur les Pays les Moins Avancés, 14-20 Mai 2001. Bruxelles: 53
- Michel, S. and Beuret, M. (2008). La Chinafrique. Pekin à la conquête du continent noir. 360p Paris, Grasset.
- Moyo, D. (2009). L'aide fatale : Les ravages d'une aide inutile et de nouvelles solutions pour l'Afrique. 250p Paris, Ed. Jean-Claude Lattès.
- N'Guessan M'Gbra, D., Seone, H. and Tiendrebeogo, M. (2008). *Evaluation du potentiel MDP du Burkina Faso.* Ouagadougou, PNUD et Ministère de l'environnement et du cadre de vie: 37
- OECD. (2009). "Major world economies aim for "green growth" as the way out of the crisis." Retrieved 8 mars 2011, from http://www.oecd.org/document/63/0,3343,en_21571361_42445076_43164671_1_1_1_1,00.html.
- ONU (1998). *Protocole de Kyoto à la convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques.* Kyoto, Japon, Organisation des Nations Unies: 24
- PNUD (2001). Le rapport mondial sur le développement humain 2001. Mettre les nouvelles technologies au service du développement humain. 262p New York.
- PNUD (2005). Le rapport mondial sur le développement humain 2005. La coopération internationale à la croisée des chemins. L'aide, le commerce et la sécurité dans un monde marqué par les inégalités. 401p New York.
- PNUD (2010a). Le rapport mondial sur le développement humain 2010. La vraie richesse des nations: les chemins du développement humain. 260p New York.
- PNUD. (2010b). "Les nouvelles technologies de l'information et de la communication - NTIC." Retrieved 20.10.2020, from <http://www.ml.undp.org/html/bntic.htm>.

- PNUD. (2011). "*Statistiques, Indice de Développement Humain.*" Retrieved 23 février 2011, from <http://hdr.undp.org/fr/statistiques/idh/>.
- Sachs, W. (2000). "*Entretien avec Wolfgang SACHS sur le thème du "développement". Disponible sous <http://manicore.com/documentation/articles/sachs.html>.*" **Le Monde 27 juin 2000**. <http://manicore.com/documentation/articles/sachs.html>
- Schümperli, C. (2007). La politique suisse de solidarité internationale. De la coopération au développement global. 144p Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Stangherlin, G. (2001). "*Les organisations non gouvernementales de coopération au développement.*" Courrier hebdomadaire du CRISP 1714-1715(9/2001): p.5-69
- Stiglitz, J. E. (2006). Un autre monde : Contre le fanatisme du marché. 452p Paris, Fayard.
- Strahm, R. H. (1985). Warum sie so arm sind : Arbeitsbuch zur Entwicklung der Unterentwicklung in der Dritten Welt mit Schaubildern und Kommentaren. 217p, Peter Hammer Verlag.
- The World Bank. (2009). "*Online Atlas of the millennium development goals.*" Retrieved 20.06.2010, from <http://devdata.worldbank.org/atlas-mdg/>.
- The World Bank (2010). *Africa Development Indicators*. <http://data.worldbank.org/data-catalog/africa-development-indicators?display=graph>
- Thioub, I. (2010). "*L'Afrique et ses élites prédatrices.*" **Le Monde 1er juin 2010**(p.19): p.1
- TV Agri. (2010). "*Tech for food, thématiques.*" Retrieved 20.10.2010, from <http://www.techforfood.com/thematique1.php>.
- UNDP (2003). *The Clean Development Mechanism : a user's guide*. New York, United Nations Development Programme: 84
- UNESCAP (2005). *Green Growth. Capacity Development Programme*. Bangkok, United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific: 6. http://www.greengrowth.org/capacity_building/Download/GG_capacity_development/Green_Growth_Capacity_Development_Brochure-resized.pdf
- UNESCAP (2006). *Green Growth at a Glance. The Way Forward for Asia and the Pacific*, United Nations Economic and social commission for Asia and the Pacific: 56. <http://www.unescap.org/esd/water/publications/sd/GGBrochure.pdf>
- UNFCCC. (2011). "*CDM statistics.*" Retrieved 23 février 2011, from <http://cdm.unfccc.int/Statistics/Registration/RegisteredProjByRegionPieChart.html>.
- UNO. (2010). "*United Nations Millennium Development Goals.*" Retrieved 20.06.2010, from <http://www.un.org/millenniumgoals/>.
- Zuodar, N. (2008). *Mécanisme de Développement Propre (MDP) et Ecologie Industrielle (EI) : enjeux communs, une source de financement pertinente, une visibilité accrue?* Lausanne, ICAST: 17

Chapitre 3

Outils de mise en œuvre et d'évaluation de la durabilité

3.1. Introduction

Nous avons mentionné au chapitre précédent que l'Ecologie Industrielle peut être vue comme un moyen de mise en œuvre du développement durable. En effet, elle permet clairement d'aborder et de consolider deux des trois piliers de la durabilité : la protection de l'environnement et le progrès économique. Les Symbioses Industrielles sont l'un des moyens d'implémenter l'Ecologie Industrielle. Leur mise en œuvre s'appuie sur le troisième pilier par la création de liens sociaux. C'est pourquoi nous allons nous intéresser en détail à leur utilisation dans les pays en développement, comme moyen de mettre en œuvre le développement durable.

Pour que nous puissions mieux comprendre et utiliser par la suite ces principes, je commencerai dans ce chapitre par donner un bref rappel historique et des concepts de base de l'Ecologie Industrielle (partie 3.2) et des Symbioses Industrielles (partie 3.3). Il en existe par ailleurs déjà quelques exemples d'utilisation dans les pays en développement, que j'analyserai pour en identifier les points-clés (partie 3.4).

Dans un contexte peu industrialisé, l'agriculture prend souvent une place très importante. Les Symbioses Industrielles envisageables auront donc souvent des liens avec cette agriculture, et l'on parlera de Symbioses Agro-Industrielles. Un des échanges de matières possibles entre l'agriculture et l'industrie est l'utilisation de produits agricoles comme combustible. On parle alors de biocarburant. Dans les pays en développement, où l'accès à la nourriture peut souvent être problématique, l'utilisation de biocarburants pose de nombreuses questions. J'aborderai donc cette thématique afin de faire un bref rappel de ce que sont les biocarburants, et d'identifier les enjeux qui y sont liés (partie 3.5).

La mise en place d'une Symbiose Industrielle dans un pays en développement peut être considérée comme positive pour l'environnement et le développement durable en général, car c'est l'un des objectifs mêmes de cette stratégie. Cependant il est nécessaire d'évaluer cet effet. Nous allons donc nous intéresser à l'évaluation des impacts environnementaux des Symbioses Industrielles et au choix d'un outil adapté (partie 3.6). L'Analyse du Cycle de Vie est un outil qui permet de mettre en valeur cette vision holistique qu'apporte l'Ecologie Industrielle. Il sera donc choisi comme outil d'évaluation. Cependant, son utilisation dans les pays en développement pose encore de nombreux problèmes, comme je l'illustrerai à travers une revue de littérature (partie 3.7). Au cours des chapitres suivants, nous nous rendrons compte que l'évaluation des impacts environnementaux dans les pays en développement doit être complétée par une évaluation conjointe des autres aspects du développement durable.

Dans les pays industrialisés, une prise de conscience similaire est en cours et de plus en plus d'entreprises cherchent à mettre en place des stratégies nommées Responsabilité Sociale d'Entreprise (RSE). Cette stratégie nécessite que l'entreprise soit en mesure de maîtriser son impact social. Pour répondre à cette demande, des initiatives tentent d'élargir l'Analyse du Cycle de Vie à l'évaluation des impacts sociaux et ont permis de créer un nouvel outil

nommé Analyse du Cycle de Vie Sociale (ACVs) (partie 3.8). L'ACVs suit la même vision Cycle de Vie et les recherches sont en cours pour établir une méthodologie commune. Cependant, comme nous le verrons, cette stratégie est peu adaptée aux besoins de notre étude.

Une brève présentation sera faite des outils d'évaluation de la durabilité au paragraphe 3.9. Je m'inspirerai par la suite de ces outils pour développer une méthodologie propre aux projets ayant lieu dans les pays en développement.

Tous ces outils ayant été présentés, nous pourrons voir au chapitre suivant (chapitre 4) comment l'Ecologie Industrielle et le concept de Symbiose sont utilisés dans une étude de cas au Nord du Nigéria. Cette étude de cas servira ensuite de base pour le reste de ce travail dans le but d'effectuer une évaluation des impacts environnementaux, de développer une méthodologie d'évaluation de la durabilité ainsi que d'identifier les enjeux et perspectives des Symbioses Industrielles dans les pays en développement.

3.2. L'Ecologie Industrielle

L'Ecologie Industrielle est un concept qui existe depuis longtemps, mais qui a commencé à être formalisé sous ce terme-là dans les années 1970 [Erkman 2002]. Cependant, c'est seulement suite à un article en 1989 de Frosch et Gallopoulos [1989] dans le journal *Scientific American*, et à une brochure de Tibbs [1993] destinée au monde économique que le concept a vraiment pris de l'ampleur.

3.2.1. La nature comme modèle

L'Ecologie Industrielle est basée sur une métaphore qui conçoit le système industriel comme un cas particulier d'écosystème, dans lequel les industries utilisent les déchets des unes comme matière première des autres, à l'image de ce que font les organismes des écosystèmes naturels [Allenby and Cooper 1994; Graedel 1996; Korhonen and Snäkin 2005]. A l'instar des écosystèmes naturels, un système industriel peut ainsi être décrit pour sa part matérielle par des flux de matières, d'énergie et d'informations [Erkman 2004]. Par analogie à la nature, on appelle "Symbiose Industrielle" l'échange de déchets ou sous-produits entre deux entreprises. Le but est, au final, d'optimiser l'utilisation de la matière et l'énergie consommées tout en minimisant les pertes.

Pour être durable, un écosystème industriel doit chercher à atteindre un équilibre avec l'écosystème naturel dans lequel il se situe et il puise ses ressources. Il doit donc éviter les pollutions et la destruction de cet équilibre.

L'Ecologie Industrielle se définit en particulier à travers le bilan de masse et plus précisément par l'analyse des flux de substances et de matière [Duchin and Hertwich 2003]. Robert Ayres parle de "métabolisme industriel". Cette approche quantifie la quantité d'une

substance et décrit son devenir. Le principe sous-jacent est celui de conservation de la masse au long du cycle de vie de la matière [Ayres 1989].

La notion d'industrie est à considérer sous un angle très large, incluant toutes les activités économiques humaines, qu'elles soient "industrielles" ou non [Erkman 2004]. Ce qui caractérise l'Ecologie Industrielle est cette vision systémique et globale, qui s'oppose à une vision sectorielle et cloisonnée [Lifset and Graedel 2002]. Une grande partie des auteurs voit même ce concept comme une approche pratique en vue de mettre en place des solutions pour un développement durable [Newman 1999; Korhonen 2004; Kurup *et al.* 2005].

Isenmann [2003] montre que l'Ecologie Industrielle peut être décrite selon ses cinq caractéristiques principales :

- Son idée centrale : les Symbioses Industrielles,
- Sa perspective fondamentale : la nature comme modèle,
- Son objectif de base : Rééquilibrer le système industriel-écologique,
- Sa définition de travail : Science du développement durable,
- Ses principaux objets de travail : Produits, procédés, services et déchets.

3.2.2. Une approche systémique

Le système industriel a depuis longtemps été considéré comme séparé de la biosphère, avec d'un côté les industries et de l'autre, la Nature. Cette vision des choses a résulté en des stratégies de traitement des pollutions appelées "end-of-pipe". Ces stratégies ont bien sûr été très utiles comme première démarche, mais ont rapidement montré leurs limites. En effet, dans un monde aux ressources limitées et où la population continue d'augmenter tout en ayant des aspirations économiques croissantes, ces stratégies se sont montrées non seulement inefficaces pour résoudre les problèmes environnementaux, mais également trop chères sur le long terme [Erkman and Ramaswamy 2000, 2003]. Les théories d'Ecologie Industrielle ont donc (ré-)émergé à une période où il était devenu évident que ces approches traditionnelles de gestion des pollutions sont vouées à l'échec : au contraire, l'Ecologie Industrielle a pour but de provoquer un changement de modèle en profondeur en se basant sur une vision systémique et intersectorielle.

Le métabolisme industriel est basé sur les flux et échanges de matières et énergie à l'intérieur du système. Un système industriel ayant peu d'échanges entre les industries et produisant de nombreux déchets devant être traités est ainsi un système immature, alors qu'un système étant bâti sur de nombreux échanges et réduisant les déchets finaux est schématiquement considéré comme mature. Ainsi que le développe Erkman [2004], "*la stratégie qui vise à favoriser la maturation du système industriel [...] comporte quatre axes :*

- *valoriser les déchets comme ressources*
- *boucler les cycles de matière et minimiser les émissions dissipatives*
- *dématérialiser les produits et les activités économiques*
- *décarboniser l'énergie.*"

Valoriser les déchets comme ressources

A l'image des chaînes alimentaires des écosystèmes naturels, l'Ecologie Industrielle propose de créer dans les écosystèmes industriels des réseaux d'utilisation des ressources et des déchets afin que tous les résidus deviennent ressources pour d'autres entreprises ou entités économiques [Frosch and Gallopoulos 1989]. Le recyclage est seulement l'un des aspects d'une série de stratégies de récupération des flux de matière [Allen 2002].

Boucler les cycles de matière et minimiser les émissions dissipatives

Dans les pays industrialisés, la consommation humaine cause actuellement plus de pollution que la manufacture. Des produits tels que les fertilisants, pesticides, solvants mais aussi les pneus, sont entièrement ou partiellement dispersés dans l'environnement lors de leur utilisation. De nouveaux produits doivent ainsi être établis pour minimiser les pertes ou, au minimum, éliminer leurs effets négatifs [Erkman 2004].

Dématérialiser les produits et les activités économiques

L'objectif est de minimiser les flux de matière et d'énergie, tout en assurant un service identique. Les progrès technologiques permettent d'atteindre une plus grande quantité de service tout en réduisant la quantité de matière utilisée, par exemple en produisant des objets plus légers ou en permettant de remplacer des pièces plus facilement. De plus, la dématérialisation s'applique également aux infrastructures urbaines des systèmes industriels, comme les bâtiments ou les réseaux de transport [Herman *et al.* 1990; Bernardini and Galli 1993; Cleveland and Ruth 1998].

Décarboniser l'énergie

Depuis le début de l'ère industrielle, les combustibles fossiles hydrocarbonés (charbon, pétrole, gaz) ont été au cœur de la croissance des économies industrielles. Cependant, le carbone fossile est aussi à la racine de nombreux problèmes : croissance de l'effet de serre, smog, marées noires, pluies acides, etc. Il faut donc chercher à rendre la consommation d'hydrocarbures moins nuisible (par exemple en récupérant le carbone des émissions de combustion) et encourager les économies à utiliser des énergies qui nécessitent moins de combustible fossile (énergies renouvelables, économies d'énergie) [Nakicenovic 1997; Socolow 1997].

3.2.3. Moyens d'action : Les Symbioses Industrielles

Pour atteindre ces objectifs, l'Ecologie Industrielle dispose de plusieurs outils. Celui qui nous intéresse plus particulièrement est la création de Symbioses Industrielles. Cette stratégie permet de tisser des liens entre les entreprises afin d'optimiser leurs consommations de matière et d'énergie, et ainsi de réduire l'épuisement des ressources non renouvelables [Tilley 2003; Jacobsen 2006; Chertow 2007].

Une Symbiose Industrielle, à l'image d'une symbiose naturelle est un échange de matière ou d'énergie entre deux organismes, duquel chacun tire bénéfice. Ainsi, une entreprise qui

utiliserait les déchets d'une autre comme matière première pour son activité réalise une Symbiose Industrielle.

Les principales raisons de mettre en place une telle stratégie sont en général financières, mais également environnementales : il s'agit de mieux insérer les activités industrielles dans leur environnement et de réduire les impacts globaux tout en réduisant les coûts à long terme. Comme nous le verrons par la suite, les Symbioses Industrielles peuvent avoir de nombreux autres effets positifs, comme la création d'un réseau social industriel qui permet de mieux planifier la croissance.

Une limitation à la création de ces Symbioses Industrielles est le fait que les différentes parties prenantes seront alors dépendantes les unes des autres. L'équilibre est donc fragile et devra être modifié si l'un ou l'autre décide de cesser son activité ou de modifier les volumes de production. Le paragraphe 3.3 traitera ce sujet central plus en détail.

3.2.4. Moyens d'analyse

L'Ecologie Industrielle repose sur les outils de diagnostic et d'analyse suivants.

Analyse des flux de matière et d'énergie (AFM)

L'analyse de flux de matières est l'étude du métabolisme industriel en tant que tel. Elle permet par exemple de quantifier les flux de matière en présence, et d'avoir une vision synthétique des Symbioses Industrielles potentielles. L'annexe 3 donne les bases de l'analyse des flux de matières.

Analyse du cycle de vie (ACV)

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est un outil qui s'apparente à l'analyse des flux de matières, mais dont l'objectif est différent. En effet, sur la base des flux de substances identifiés, l'ACV cherche à déterminer les impacts environnementaux potentiellement provoqués en vue de les réduire. L'annexe 2 donne le cadre et les éléments-clé de l'ACV.

3.3. Symbiose Industrielle

3.3.1. Principes et éléments-clés

Comme décrit précédemment, une Symbiose Industrielle consiste en la création d'un échange de matière entre deux (ou plusieurs) partenaires industriels, de manière à utiliser un déchet et de le substituer à l'utilisation d'une matière première. Il existe différents types de Symbioses Industrielles. Afin d'identifier l'intérêt d'une Symbiose Industrielle, la notion de hiérarchie de déchets et d'utilisation de ces déchets telle que décrite ci-dessous doit être considérée.

Types de Symbioses Industrielles

Une Symbiose Industrielle peut être basée sur plusieurs types d'échange :

- Echange de matière physique : déchet ou sous-produit tel que copeaux de bois ou résidus soufrés de traitement des fumées par exemple,
- Echange de vecteur énergétique : eau chaude, vapeur d'eau, ...
- Echange et mise en commun d'infrastructures : mise en commun de transport, infrastructure de pressurisation, ...

Ehrenfeld et Chertow [Chertow 1998; Ehrenfeld and Chertow 2002] mentionnent encore trois autres types d'échange de matière, plus liés à la manière de réaliser l'échange : Entre sociétés installées sur le même site (on parle alors de parc éco-industriel), entre sociétés situés dans des zones différentes, et entre sociétés organisées virtuellement sur une région plus grande. Dans ce travail, nous parlerons indifféremment de Synergie Industrielle ou de Symbiose Industrielle.

Une Symbiose Agro-Industrielle est un cas particulier de Symbiose Industrielle dans laquelle un des partenaires est l'industrie agricole.

Hiérarchie des échanges de matières

La hiérarchie des déchets est un classement bien connu des stratégies de minimisation des déchets, par ordre de préférence. Cette hiérarchie découle de la stratégie des 3R (Reuse, Recycle, Recover) développée dans le cadre d'une politique "zero waste" (zéro déchet) [Gertsakis and Lewis 2003]. Elle suit le concept largement accepté qu'il "vaut mieux prévenir que guérir", et ainsi une logique de prévention du risque et des causes plutôt que de gestion des impacts [Hirschhorn *et al.* 1993]. En termes industriels, il s'agit donc de favoriser une logique de production propre plutôt que de traitement "end-of-pipe" [Baas 1995].

Voici l'ordre de priorité de traitement des déchets [Schall 1992] :

1. En premier lieu, il y a la **prévention** : éviter de produire un déchet
2. Ensuite, la **minimisation** : réduire la quantité de déchets produite
3. Vient ensuite la **réutilisation** de la matière telle quelle
4. Puis le **recyclage** : initialement une utilisation de la matière pour un usage de même qualité que l'usage premier. Puis le recyclage en qualité inférieure : matière utilisée pour un usage de moins bonne qualité que l'usage premier.
5. Finalement vient la **valorisation énergétique**,
6. Et en dernier la **mise en décharge**.

Pour qu'un projet de Symbiose Industrielle puisse être réalisé et garanti sur la durée, il est nécessaire que les entreprises en relation aient déjà entrepris un certain nombre d'actions d'optimisation des procédés en interne. En effet, une Symbiose Industrielle basée sur un flux de matière qui ne serait pas produit si les procédés étaient optimisés serait un frein à une réduction globale des impacts par mise à niveau des installations (par exemple).

Ainsi, une entreprise souhaitant mettre en place une démarche de diminution de ses impacts environnementaux commencera par faire une évaluation de ses procédés de fabrication afin d'éviter toute perte ou dissipation inutile, obtenir un rendement acceptable et mettre à jour son infrastructure et ses procédés. Ceci entre dans la stratégie de gestion des déchets telle que décrite ci-dessus, au niveau un et deux : prévention et minimisation des déchets.

Ceci étant réalisé, l'entreprise pourra alors entrer dans un programme de Symbiose Industrielle et mettre en commun ses sous-produits ainsi que chercher des alternatives pour les matières premières utilisées.

Dans la hiérarchie des échanges de matières répondant au titre de Symbiose Industrielle les échanges de déchets peuvent être classés ainsi:

- Dans le meilleur des cas, un déchet industriel peut être utilisé tel quel comme matière première. Il peut s'agir de matière, mais également de chaleur ou de pression de vapeur. On peut parler de recyclage.
- Ensuite un déchet peut être utilisé comme matière première, à condition de modifier sa qualité (pureté, conditions thermiques et chimiques, ...). On peut également parler de recyclage.
- Pour terminer, un déchet peut être utilisé afin de produire de l'énergie. Il est donc éliminé lors de ce processus en vue de récupérer de l'énergie thermique, mécanique, ou électrique par exemple. Il sort ainsi partiellement de la boucle des matières. On ne peut donc plus nommer à proprement parler cet échange "Symbiose Industrielle". En effet, l'utilisation d'une matière pour en faire de l'énergie est la dernière valorisation possible de celle-ci. Ainsi brûler du pétrole peut être très efficace, mais il est certainement possible d'ajouter une étape supplémentaire d'utilisation de matière, entre son extraction et son élimination. Il en est de même pour toutes les matières qui sont éliminées. Cependant, même lors d'une combustion, il est possible de récupérer une partie de la matière sous forme de gaz ou de cendres, et d'en tirer une nouvelle valorisation.

De plus, il est possible d'imaginer des échanges de matières inspirés des Symbioses Industrielles, mais qui n'en sont pas à proprement parler, car elles ne se basent pas sur un échange de déchets, mais sur un échange de produit :

- Création d'un nouvel échange de matière première entre deux industries, où une des deux entreprises modifie son procédé afin de produire spécifiquement le flux de matière dont la deuxième entreprise a besoin. Ce nouveau flux de matière viendrait donc remplacer la consommation d'une matière première non renouvelable.
- Création d'un nouvel échange de matière première entre deux industries, où une des deux entreprises modifie son procédé afin de produire spécifiquement le flux de matière dont la deuxième entreprise a besoin, et qui sera utilisé pour produire de l'énergie, et par là-même, éliminé.

Ces deux derniers types d'échanges peuvent s'apparenter à une Symbiose Industrielle dans le sens où les effets sociaux produits peuvent être similaires à ceux qu'une Symbiose

Industrielle créerait. Par contre, ils n'apportent pas les avantages environnementaux de la réduction de déchets attendus pour une Symbiose Industrielle.

3.3.2. Mise en œuvre et méthodologies de détection

Comme nous l'avons vu, les Symbioses Industrielles peuvent avoir lieu entre entreprises existantes, situées à proximité ou dans des parcs éco-industriels prévus à cet effet. Les processus de mise en place de Symbiose Industrielle peuvent soit suivre une stratégie bottom-up, selon laquelle les industriels sont à la base de l'initiative d'échange de matière, soit une stratégie top-down voulue et accompagnée par le gouvernement. Les deux types de stratégies ont leurs avantages et leurs inconvénients, facteurs de succès ou d'échec, et des objectifs propres. La méthode la plus appropriée dépendra du contexte industriel, culturel, historique, légal et social notamment. Une expérience réussie ne peut malheureusement pas se transposer telle quelle dans un autre contexte. Chaque Symbiose Industrielle nécessite un processus spécifique de mise en œuvre, et du temps pour faire évoluer les mentalités et les objectifs vers une vision commune.

Approches bottom-up

L'exemple le plus connu de Symbiose Industrielle est celui de la ville de Kalundborg, au Danemark. De nombreux articles décrivent en détail ce succès ainsi que les conditions qui ont permis sa réalisation : [Ehrenfeld and Gertler 1997; Chertow 2000; Ehrenfeld and Chertow 2002; Jacobsen 2006].

Comme le décrit synthétiquement Erkman [2004], la Symbiose Industrielle de Kalundborg comprend cinq partenaires principaux, dans une zone industrielle (voir figure 3.1). Un processus spontané d'échange de sous-produits et de déchets s'est progressivement mis en place de manière bilatérale entre les industries présentes et la ville, sur une base commerciale. Les relations sociales existantes et la confiance mutuelle sont l'un des facteurs de succès importants qui ont permis aux entrepreneurs de conclure des accords entre eux, sur une base confidentielle. Les échanges de déchets ont notamment été possibles grâce à la diversité des industries présentes, à leur complémentarité et à leur proximité.

D'autres exemples d'approches bottom-up existent, comme le parc éco-industriel de Kwinana en Australie [Bossilkov *et al.* 2005], ou le complexe industriel du port de Rotterdam [Baas and Huisingsh 2008] aux Pays-Bas, tous deux initiés par des associations d'industriels.

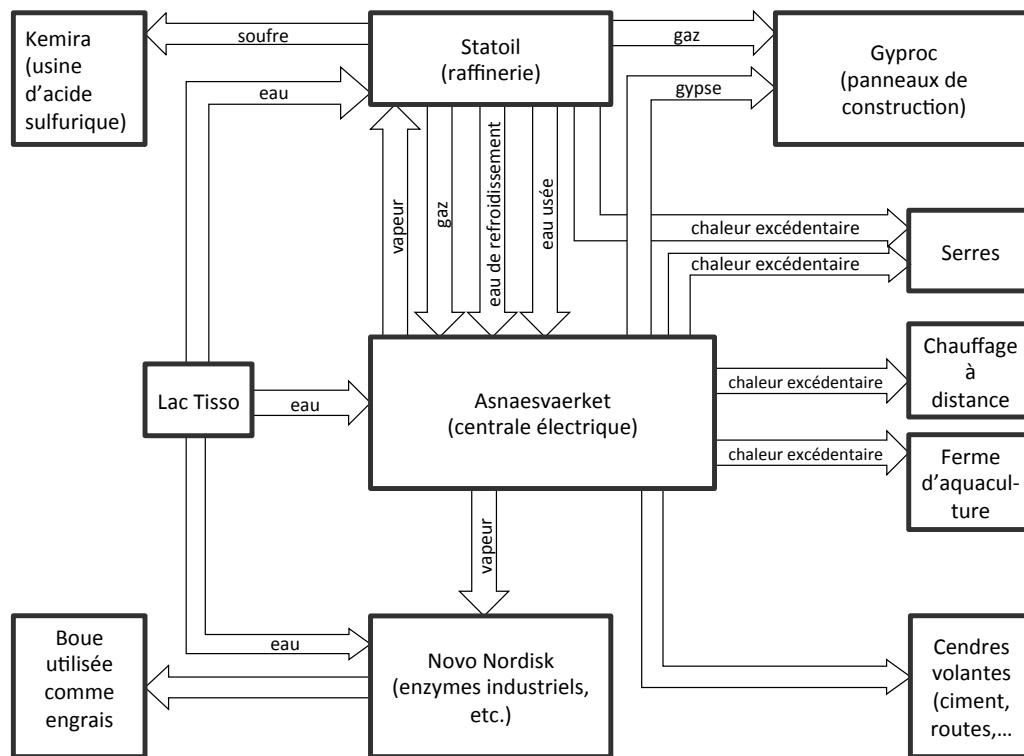


Figure 3.1 : Schéma des principaux échanges de déchets entre les partenaires de la symbiose industrielle de Kalundborg ([Erkman 2004], tiré de [The Symbiosis Institute 2011])

Approches top-down

D'un autre côté, il y a les approches voulues par l'Etat, qui mettent en place des stratégies d'accompagnement ou de stimulation. Il s'agit par exemple de certains parcs éco-industriels, où des zones (géographiques ou non) sont définies et organisées pour attirer une diversité d'entreprises sur la base des échanges de matière et énergie qu'elles pourront réaliser, ainsi que des mutualisations d'infrastructures possibles. L'Ecologie Industrielle peut ainsi être une source d'inspiration pour l'aménagement du territoire et amener à planifier une mixité et une complémentarité des activités (industrielles mais également logement ou loisirs).

Dans ce sens, le Kawasaki Zero Emission Industrial Park au Japon a fait l'objet d'une planification territoriale par la ville de Kawasaki qui a défini une zone de 2800 ha pour en faire le site d'une "ville écologique" [Fleig 2000]. Une grande partie des Symbioses Industrielles et des éco-parcs développés en Chine suivent également une stratégie dirigée par le gouvernement central [Lei 2007].

Approches intermédiaires

Certaines stratégies de mise en place de Symbioses Industrielles proviennent d'organes extérieurs au système industriel, qui agissent comme initiateurs ou facilitateurs. Nous pouvons notamment parler ici du programme NISP [Laybourn 2007] au Royaume-Uni, qui est un programme de soutien national aux industries, qui a pour objectif de promouvoir des

stratégies de gestion durable des ressources au niveau régional. Le NISP est financé par le gouvernement ainsi que par des organisations industrielles.

Le succès d'une approche ou de l'autre est largement dépendant du contexte culturel, légal, historique et social de la région concernée [Chertow *et al.* 2004; Baas and Boons 2007]. Aucune de ces stratégies n'est actuellement à préférer aux autres, chacune ayant ses avantages et ses inconvénients. Le cadre légal est un aspect particulièrement important, qui détermine la possibilité ou non d'utiliser un déchet comme ressource [Costa *et al.* 2010].

Après avoir étudié et comparé de nombreux exemples de parc éco-industriels mis en place aux Etats-Unis selon une approche planifiée de développement (top-down), Chertow pense que *"les acteurs privés ne doivent pas forcément être les initiateurs, mais doivent clairement être intégrés dans la mise en œuvre [des projets de Symbioses Industrielles]"* [Chertow 2000]. Elle ajoute que *"les autorités publiques devraient se concentrer sur la détermination des Symbioses Industrielles émergentes, afin de favoriser leur expansion au lieu de tenter de créer de toutes pièces les synergies."* [Chertow 2007; Skubich 2008].

3.3.3. Objectifs et effets attendus

Les effets attendus d'une Symbiose Industrielle sont aussi bien :

- Environnementaux : ralentissement de l'épuisement des ressources, diminution des impacts environnementaux, etc.
- Economiques : les partenaires sont tous financièrement bénéficiaires du nouvel échange de matière
- Sociaux : une relation de confiance est établie, un lien social est créé, moteur d'une dynamique d'innovation locale de type solidarité, etc.

Dans leur synthèse sur les futurs axes de recherche, Chertow *et al.* [2004] posent notamment la question de la quantification des effets bénéfiques sur les communautés locales dans lesquelles sont situées les Symbioses Industrielles. Chertow [2000] ajoute à ce sujet que la collaboration née d'une Synergie Industrielle peut faire croître les relations sociales entre les participants et même s'élargir au reste de la population locale. Dans leur théorie sur l'évolution des sites industriels basés sur les Symbioses Industrielles, Baas et Boons [2004] identifient trois stades d'évolution: le stade d'"efficacité régionale", le stade d'"apprentissage régional" et le stade de "district industriel durable". Sans entrer ici dans les détails de chaque étape, Baas et Boons montrent que le contexte et les effets sociaux sont particulièrement importants, notamment dans la deuxième phase, l'apprentissage régional. Cette phase est basée sur la reconnaissance mutuelle et la confiance, l'échange de connaissances entre firmes et autres partenaires et l'élargissement de la définition de durabilité sur laquelle ils travaillent. D'autres auteurs mentionnent également des effets sociaux bénéfiques importants, comme la création d'emploi pour la population rurale auparavant sans emploi [Ometto *et al.* 2007], ou la stimulation du marché du travail local par la création d'emplois pour des employés de haut niveau d'éducation [Zhu *et al.* 2007].

3.3.4. Les Symbioses Agro-Industrielles comme moyen d'action

Comme je l'ai déjà esquissé au chapitre 2, ce travail formule l'hypothèse que les Symbioses Agro-Industrielles pourraient être utilisées dans les pays en développement, et pourraient avoir des conséquences particulièrement intéressantes pour le développement des régions concernées [Agarwal and Strachan 2008]. Les Symbioses Industrielles sont généralement voulues pour leurs effets positifs sur l'environnement ainsi que sur l'économie. Cependant, je pense que les effets sur les relations sociales régionales et des parties prenantes, ainsi que leurs conséquences sont d'importance égale ou supérieure aux effets économiques et environnementaux. La mise en place d'une Symbiose Industrielle pourrait ainsi être un catalyseur pour le développement régional.

3.3.5. Les Symbioses Agro-Industrielles comme outil de développement rural

Dans ce contexte, je considère ici le concept de Symbiose Industrielle comme une potentielle base pour le développement rural en Afrique de l'Ouest [Schwab-Castella and Erkman 2007a]. Nous connaissons les raisons économiques et éventuellement environnementales qui poussent en général les entreprises à mettre en place une Symbiose Industrielle. Cependant, lorsqu'un des acteurs n'est pas une entreprise, mais une population, d'autres effets intéressants peuvent se développer.

Plus précisément, si la population locale s'organisait pour produire de la biomasse qui serait ensuite vendue à une entreprise pour substituer un combustible fossile, nous pourrions nous attendre à de nombreux effets, aussi bien environnementaux et économiques que sociaux [Schwab-Castella and Erkman 2007b, 2009]. Par exemple, nous pourrions observer :

- Accroissement du pouvoir d'achat, de la capacité à épargner et de l'accès au prêt pour les paysans
- Amélioration de la capacité à se prémunir contre les risques climatiques notamment
- Amélioration de la gestion de la fertilité du sol et de l'eau
- Amélioration de la sécurité et de l'autonomie alimentaire
- Amélioration de l'accès à l'énergie pour la population, source d'activités à plus haute valeur ajoutée
- Renforcement des associations de paysans, fédération de ces paysans
- Déclenchement de mécanismes d'auto-développement
- Limitation de l'épuisement des ressources fossiles et diminution des émissions de CO₂ totales
- Diminution des coûts de l'énergie pour l'entreprise
- Amélioration de la sécurité "physique" régionale (création d'un climat de confiance), etc.

Tous ces effets ne sont bien entendu pas certains, mais la mise en place d'une Symbiose Industrielle permet d'ouvrir une nouvelle porte et de les rendre envisageables. L'existence de ces effets positifs serait directement dépendante de la volonté des différents acteurs de profiter des opportunités nouvelles.

3.3.6. Les Symbioses Agro-Industrielles, informations générales

Les Symbioses Agro-Industrielles sont un cas particulier de Symbioses Industrielles où l'un des partenaires d'échange est l'agriculture ou "l'industrie agricole".

Lors d'une Symbiose Agro-Industrielle, l'échange de matière peut avoir lieu dans les deux sens, et doit dans tous les cas être une situation win-win:

- Soit l'industrie produit un déchet qui peut être valorisé dans le système agricole, et évite qu'il doive être éliminé d'une autre manière. Cela conduit à une réduction des coûts pour l'entreprise (qui ne doit plus payer pour l'élimination d'un déchet) et pour les paysans (qui ont ainsi accès à une ressource à un prix réduit), et cela permet également de réduire la consommation globale de ressources. C'est par exemple le cas des brasseries qui produisent des drêches (écorce du malt d'orge) qui peuvent être valorisés comme nourriture pour les cochons [Kane 1997; Heineken 2010]. C'est également le cas de l'eau chaude produite dans une centrale nucléaire, qui peut être utilisée pour chauffer des serres et produire des tomates [Lafourcade 2008] ou de CO₂ émis qui peut être récupéré et utilisé dans les serres pour accélérer la croissance des plantes [NISP *et al.* 2006].
- Soit un déchet (ou un produit) est généré par le système agricole et peut être valorisé par l'industrie, et évite ainsi l'importation d'une autre ressource non-renouvelable. Cela conduit à une nouvelle source de revenus pour les paysans, qui peuvent valoriser une nouvelle part de leur production, ainsi qu'à une réduction des coûts pour l'industrie qui n'a ainsi pas à importer une ressource. C'est par exemple le cas dans la production de café [Lafarge group 2009b], de riz [Lafarge group 2009c] ou d'huile de palme [Lafarge group 2009a], où les coques (respectivement balles et déchets) peuvent être utilisées comme substitut d'un combustible fossile pour la production de ciment.

Dans les pays industrialisés, les partenariats entre l'industrie et l'agriculture ont peu de différences avec des partenariats entre industries. En effet, les exploitations agricoles des pays industrialisés ont souvent une taille et un chiffre d'affaire comparable à une entreprise moyenne. Elles ont ainsi un volume de production suffisant pour imaginer des échanges significatifs. Chaque paysan, à l'image d'un industriel, est en mesure de connaître précisément ses flux de matière et d'énergie.

Ce n'est pas le cas dans les pays en développement, où les exploitations agricoles peuvent être de très petite taille et où les flux de matière peuvent énormément varier d'une année à l'autre. Comme le mentionnent Özyurt et Realff [2002], la mise en place d'une Symbiose Agro-Industrielle est un processus complexe qui peut nécessiter une approche intégrant la participation de plusieurs disciplines : ingénierie des procédés, agronomie, ingénierie environnementale et approche systémique. Nous pourrions également mentionner pour les

pays en développement la nécessité d'intégrer une discipline comme les sciences sociales ou les études du développement. Ainsi une industrie établie dans une zone rurale d'un pays en développement ne sera pas en mesure de communiquer et traiter avec un seul partenaire industriel dans une relation bilatérale, mais devra gérer une relation multilatérale entre elle et une multitude de paysans. Comme nous le verrons, différentes stratégies sont possibles pour les industriels, pour pouvoir malgré tout envisager une Symbiose Industrielle. L'interlocuteur multiple avec lequel l'entreprise doit collaborer n'étant pas un industriel, un effort particulier lui sera nécessaire, ainsi qu'une volonté profonde de trouver un terrain d'entente.

3.4. Les Symbioses Industrielles dans les pays en voie de développement

Comme je l'ai mentionné, nous nous intéressons à l'utilisation des Symbioses Industrielles dans les pays en développement. Afin d'avoir une idée des expériences existantes, je présente ici une revue de littérature sur le sujet. Comme nous allons le voir, les expériences existantes ont surtout lieu dans des pays émergents, c'est-à-dire des pays ayant ou ayant eu une forte croissance industrielle récente, comme la Chine et l'Inde. Il y a ainsi encore très peu d'exemples en Afrique ou en Amérique Latine.

3.4.1. Chine

Comme le rapporte Bi [2004], en Chine, les activités de Symbioses Industrielles sont mises en place à travers la stratégie "d'économie circulaire". L'Ecologie Industrielle est un domaine qui a rapidement trouvé écho dans la culture chinoise, car celle-ci intègre la notion de cycle au plus profond de ses racines. *"L'économie circulaire progresse très vite [...] En 2000, c'est seulement une idée au sein d'une démarche d'Ecologie Industrielle, en 2002 c'est devenu une stratégie nationale. A partir de 2005, l'Etat s'est lancé dans l'organisation systématique de l'industrie [...], d'écoparcs et mis à l'essai d'expérimentation d'éco-villes. [...] En 2007, la Loi de l'économie circulaire (projet) a été élaborée."* [Fan 2008]

Théoriquement, l'économie circulaire est conçue pour être mise en place dans une stratégie "top-down", où les gouvernements nationaux et provinciaux planifient l'agriculture, l'industrie, les services et autres secteurs, en vue de limiter l'épuisement des ressources et la pollution environnementale [Lei 2007]. En 2006, l'Agence chinoise de protection de l'environnement (SEPA) a établi seize projets pilotes de parcs éco-industriels, principalement basés sur l'industrie lourde [Lei 2007]. Ils ont servi d'exemple afin de créer 122 zones nationales de développement et plus de 400 zones locales de développement basées sur l'Ecologie Industrielle [Fan 2008].

Yong [2005] note cependant qu'un des freins au développement des parcs éco-industriels en Chine est la mauvaise compréhension du terme "Ecologie Industrielle" dans la culture chinoise et la difficulté de traduire ce terme en mandarin, ainsi que le manque de capacité technologique des gouvernements centraux.

Lowe [2005] note que dans la pratique, l'économie circulaire utilise une vision restreinte de l'Ecologie Industrielle et se borne à faire des échanges entre entreprises au lieu d'utiliser une définition systémique, qui permettrait d'inclure des clusters de récupération de ressources et recyclage, une agence de coordination, des réseaux d'entreprises éco-industriels, de la recherche et du développement ainsi que des financements. Une définition plus large des parcs éco-industriels pourrait permettre à ceux-ci d'être des sources de développement économique régional. Il note le manque d'intégration du secteur privé dans la définition des parcs asiatiques. Les choix politiques prennent ainsi trop souvent le dessus sur les besoins et les stratégies de développement économique. Il montre également que les lourdeurs administratives et bureaucratiques ont résulté en une mauvaise gestion des sites éco-industriels pilotes.

Une autre manière de mettre en œuvre les Symbioses Industrielles en Chine est ce qu'on appelle les "clusters", qui sont des zones ou régions dont l'activité industrielle est tournée vers la production d'un bien de consommation du début à la fin. De nombreux produits d'exportation estampillés "made in China", comme des jouets, des chaussures ou des stylos sont produits dans de tels clusters. Ils sont construits autour d'industries plus légères comme le textile, la production agro-alimentaire, etc. [Lei 2007].

La mise en place de Symbioses Industrielles en Chine requiert non seulement une planification technique de l'échange de matière à réaliser, mais également des ajustements industriels nécessaires, ainsi qu'une mise en perspective et une prise en compte des aspects institutionnels, programme et structure politiques, de même que d'autres aspects non institutionnels, tels que les ressources naturelles, le travail, les investissements en capital, etc. [Lei 2007]

Parc éco-industriel de Guigang

Le premier projet pilote choisi par l'Etat chinois comme exemple de parc éco-industriel est celui de Guigang. Je vais en donner ici les grandes lignes, tirées des articles de Zhu et Coté [2004] et Zhu *et al.* [2007].

Une Symbiose Industrielle a été mise en place dans la ville de Guigang, dans la région autonome de Guangxi Zhuang au Sud de la Chine par le groupe Guitang, producteur de sucre, depuis plus de quarante ans. Il a donc suivi une stratégie économique et environnementale antérieure au développement du concept d'économie circulaire, et est issu d'initiatives du secteur privé. En 2001, le parc de Guigang a été choisi par l'Agence d'Etat pour la protection de l'environnement (SEPA) de Chine comme parc de démonstration.

Le groupe Guitang a développé et mis en œuvre un système qui peut être caractérisé de Symbiose Industrielle interne et externe. La Symbiose Industrielle interne concerne la gestion intégrée de la production de sucre et de tous ses sous-produits. Afin de tirer profit de toutes les ressources utilisées et réduire les pollutions et les frais d'élimination des déchets, la production de sucre a été associée à une usine de production de papier, une cimenterie, une production de fertilisants ainsi qu'une usine de production d'alcool. La Symbiose

Industrielle externe concerne la création d'un réseau de relations externes avec le gouvernement local (ville de Guigang), des clients, des fournisseurs et des concurrents. Le gouvernement est un acteur important car il fixe le prix minimum que les entreprises doivent payer aux paysans par tonne de canne à sucre. Il agit ainsi comme régulateur afin que la production agricole soit suffisante (paysans stimulés à produire), mais également que les entreprises ne soient pas trop désavantagées sur le marché mondial. Associé à d'autres stratégies de stimulation régionales comme l'accès au prêt facilité pour les paysans, une dynamique positive entre le gouvernement, les paysans et les producteurs industriels (incluant le groupe Guitang) a été créée, motivant toutes les parties à augmenter la productivité et l'efficacité de manière collective.

Cette Symbiose Industrielle a par ailleurs permis de produire de nombreux emplois, et notamment pour des personnes ayant un haut niveau d'éducation, permettant à de nombreux universitaires de rester dans la région.

Un des freins à la reproduction de cette expérience est le fait qu'elle nécessite que l'entreprise s'engage dans un domaine relativement éloigné de son activité principale. Elle est par ailleurs directement liée au volume de canne à sucre produite, et si celui-ci venait à diminuer, c'est l'ensemble des activités industrielles qui en pâtiraient.

Nous pouvons par ailleurs remarquer que cette Symbiose Industrielle inclut une part agro-industrielle dans le sens où des fertilisants sont fabriqués à partir de la production d'alcool. Cependant nous remarquons également que ce n'est pas un des aspects importants du projet car les documents en parlent très peu. La Symbiose Industrielle n'est ici pas utilisée comme outil pour développer l'agriculture régionale et élever le niveau de vie des paysans, mais au contraire requiert une agriculture efficace et organisée ayant de hauts rendements afin d'être compétitive au niveau international.

3.4.2. Inde

Ramaswamy [2004b] rapporte en 2004 l'état de la mise en œuvre des concepts d'Ecologie Industrielle en Inde. Il indique en particulier que le mode d'industrialisation est tel qu'il est dominé par des millions d'unités de production de petite taille, informelles et non organisées. Ainsi, il n'y a pas de Symbiose Industrielle formelle connue, ni de parc éco-industriel, bien qu'il y ait de nombreux exemples de symbioses informelles et non documentées.

L'utilisation des Symbioses Industrielles en Inde doit passer par son introduction comme élément du système de planification formel, en vue d'une optimisation des ressources. L'énergie, l'eau et le terrain sont en particulier des ressources limitées en Inde.

Analyses des flux de ressources

Le ROI¹ est l'un des pionniers de l'Ecologie Industrielle en Inde. Cette société à but non lucratif a réalisé de nombreuses analyses de flux de matière régionaux qui ont permis

¹ Pour plus d'informations sur le ROI, voir sa page internet : <http://www.roi-online.org/>

d'identifier des sources d'amélioration et de mettre en place des stratégies de gestion régionales de ces flux [Erkman and Ramaswamy 2003]. Convaincu de l'intérêt de l'Ecologie Industrielle pour les pays en développement, Ramaswamy a régulièrement fait état des avancées de ces projets en Inde. Par exemple dans le livre qu'il a co-écrit avec Erkman [Erkman and Ramaswamy 2003], ainsi qu'à une conférence en 2003 [Ramaswamy 2004a], il présente 5 exemples instructifs, parmi lesquels ceux-ci :

- L'analyse des flux de matière de la région de Tirupur, productrice de textiles et dont l'eau est polluée, a notamment permis d'identifier que les milliers d'unités de production informelle existantes doivent importer pour plus de 7 millions de dollars d'eau annuellement pour teindre et produire les textiles! Suite à ce constat, un entrepreneur privé a développé un système de recyclage de l'eau qui peut être installé sur chaque unité de teinture et permet ainsi d'économiser de nombreux litres d'eau et de l'argent.
- Une évaluation des flux de charbon et d'eau de la région de la vallée Damodar a permis d'identifier que la source de pollution principale n'était pas les industries de production d'acier et d'énergie, mais les ménages et petites entreprises informelles. En effet, ces derniers sont des grands consommateurs de charbon, qui est brûlé à ciel ouvert sans traitement des fumées, contrairement à ce qui est fait dans les industries. Cet exemple illustre l'importance dans les pays en développement de prendre en compte l'ensemble de la société et pas uniquement les industries. En effet, le contexte socio-économique y est totalement indissociable de l'environnement. Et l'Ecologie Industrielle permet une telle approche.

En 2006, les projets suivants lui permettent d'illustrer la nécessité d'avoir une vision basée sur les ressources disponibles lors de la planification [Ramaswamy 2007]:

- La comparaison de trois systèmes agricoles, afin d'identifier celui qui est le plus intéressant pour la population a montré que la canne à sucre est plus efficace en terme d'emplois créés, utilisation d'eau et d'énergie que le riz ou le coton, contrairement à ce que la population locale pensait.
- Une évaluation des flux de matière régionaux lors d'un projet d'implantation d'un nouvel aéroport a montré que cette nouvelle infrastructure augmenterait la population locale, et qu'il n'y avait pas les ressources en eau nécessaires pour accueillir les nouveaux habitants. Cela montre l'importance de ne pas se concentrer uniquement sur les industries lors de la planification et l'évaluation des impacts.

Symbioses et parcs éco-industriels

Contrairement à la Chine, les exemples de Symbioses Industrielles sont encore peu nombreux en Inde. La mise en œuvre y est actuellement dans les mains du secteur privé.

Un exemple de Symbiose Agro-Industrielle a également émergé "naturellement" autour d'une usine de production de papier [Erkman and Ramaswamy 2000]. Afin d'assurer la disponibilité des matières premières nécessaires, une usine de production de sucre a été mise en place, dont le sous-produit (la bagasse) est utilisé pour la production de papier.

L'entreprise a assuré la production de canne à sucre en aidant les paysans de la région à s'organiser. Comme pour l'usine du groupe Guitang en Chine, d'autres industries sont mêlées au complexe : une distillerie, une usine de traitement des eaux usées, ainsi que la production de méthane.

Un second exemple est celui de la zone industrielle de Naroda, au Gujarat. Cette zone industrielle regroupe 700 entreprises, avec environ 35'000 employés, sur un espace de 30 km² [Lowe 2001]. Les entreprises sont principalement pharmaceutiques, chimiques, des teintureriers et des entreprises intermédiaires à la teinturerie. L'association des industries de Naroda regroupe environ 80% des entreprises de la zone. En décembre 1998, elle a mis en place, en collaboration avec le bureau local de la fédération des industries indiennes et une université allemande, un projet de réseautage en vue de prévenir les pollutions [Bain *et al.* 2010]. 477 entreprises ont participé à la récolte de données, et cinq premières Symbioses Industrielles ont pu être réalisées, basées sur des échanges de substances chimiques. A la suite de cela, de nouvelles entreprises ont également lancé un processus pour créer des échanges de matières et ainsi réduire leurs déchets ou éviter de consommer des ressources épuisables. Cependant, dix ans après le lancement de ce projet, les nouveaux échanges sont peu nombreux et seulement au stade de planification [Bain *et al.* 2010].

Singhal et Kapur [2002] montrent que l'Ecologie Industrielle est une stratégie très intéressante pour planifier un développement économique tout en intégrant les contraintes environnementales. Ils présentent les détails des leviers, freins et responsabilités en vue de définir des groupes d'industries à même de réaliser des Symbioses Industrielles en Asie. Cependant, comme le rapportent très justement Bain *et al.* [2010], "*ces efforts en Inde démontrent que malgré le grand intérêt à promouvoir les Symbioses Industrielles et le développement éco-industriel, la mise en œuvre a jusqu'ici été un challenge majeur. Le secteur informel n'a pas été inclus dans ces initiatives, malgré sa grande importance dans les économies en développement*".

3.4.3. Autres pays d'Asie

Dans son handbook sur les parc éco-industriels en Asie, Lowe [2001] rapporte plusieurs exemples de mise en œuvre des Symbioses Industrielles sous la forme d'éco-parcs dans d'autres pays d'Asie. Depuis le début des années 2000, l'Ecologie Industrielle a servi de stratégie nationale de développement industriel dans plusieurs pays émergents : Philippines et Thaïlande, notamment.

Expérience aux Philippines

Une des premières initiatives éco-industrielles en Asie a été stimulée en 1998 aux Philippines [Lowe 2001] par le PNUD et le Bureau des investissements, Département du commerce et de l'industrie des Philippines. Le but du projet était de stimuler la compétitivité

économique par le management environnemental [Yong and Cote 2004]. La GTZ² a également participé à soutenir une stratégie de développement éco-industriel aux Philippines entre 2004 et 2009 [GTZ 2009], et a atteint quelques résultats intéressants [PEZA 2005].

Cependant, je constate qu'il est très difficile aujourd'hui de trouver des informations sur l'avancement de ce projet. Tout porte à croire que malgré l'intérêt initial, ces deux projets ont de la peine à prendre une réelle ampleur et doivent encore faire leurs preuves [Massard 2010].

Expérience en Thaïlande

En Thaïlande, l'autorité des zones industrielles de Thaïlande (IEAT) a évalué, au début des années 2000, la faisabilité de transformer ses 29 zones industrielles en parcs éco-industriels. Avec le soutien de la GTZ, cinq sites ont été choisis comme projets de démonstration. Cette première initiative inclut l'échange de sous-produits, la récupération de ressources, la production propre, des programmes communautaires, et la création de réseaux éco-industriels pour mettre en relation des usines à l'intérieur des zones industrielles avec d'autres à l'extérieur de celles-ci [Yong and Cote 2004].

Cependant, en 2011, nous ne trouvons plus d'informations sur cette initiative ambitieuse. Une première étape de sensibilisation a été faite mais n'a, semble-t-il, pas encore généré de résultats publiés.

L'Ecologie Industrielle comme stratégie de planification

De manière générale, l'Ecologie Industrielle est un concept qui intéresse beaucoup les pays d'Asie. En effet, ceux-ci ont une croissance industrielle très rapide. La courbe de Kuznets [Kuznets 1955] prédit qu'au début de la croissance économique, les impacts sur l'environnement augmentent également. Au-delà d'un certain niveau de développement, les impacts environnementaux sont progressivement diminués [Dinda 2004]. Les pays d'Asie étant dans la première phase de développement économique, le risque est important pour eux d'augmenter de manière importante leurs impacts environnementaux. La corrélation entre la croissance économique et les impacts environnementaux peut être expliquée par les progrès du développement économique, d'une économie agricole propre à une économie industrielle (secondaire) polluante et finalement une économie de service (tertiaire) propre. Une autre explication possible est la tendance des personnes ayant un plus haut revenu à préférer une meilleure qualité de l'environnement [Dinda 2004].

L'Ecologie Industrielle est alors perçue comme une alternative possible pour le développement économique [Singhal and Kapur 2002], afin de ne pas suivre la courbe de Kuznets, et découpler la croissance de l'augmentation des impacts environnementaux [Chiu and Yong 2004]. Cependant, au contraire de l'utilisation faite dans les pays industrialisés, Chiu et Yong pensent que dans les pays en développement, l'Ecologie Industrielle ne doit pas être uniquement utilisée comme un outil technique à l'intérieur du modèle économique

² GTZ = Coopération Technique Allemande, *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH*

dominant, car ceci a pour effet que ces outils ne sont utilisés qu'après que les lignes principales, planning et stratégies aient été développés. Dans les pays en développement, une telle utilisation serait synonyme de stratégie "end-of-pipe". Chiu et Yong proposent d'utiliser l'Ecologie Industrielle comme une stratégie de développement et planification au même titre que les stratégies économiques, au tout début du processus de planification, en vue d'avoir une politique préventive et holistique du développement économique national. Ils mentionnent cependant dans leur conclusion de nombreux freins à la mise en œuvre de l'Ecologie Industrielle dans les pays en développement : climat social et politique instable, écart entre les riches et les pauvres, et croissance économique rapide. Ainsi la planification de parcs éco-industriels en Asie devra prendre en compte de manière attentive le cadre social et culturel dans lequel il est implanté, et non pas chercher à reproduire un projet réussi provenant d'un autre contexte [Fleig 2000]. Dans les pays en développement, l'utilisation des déchets est souvent faite par de nombreux opérateurs du secteur informel. Mettre en place une stratégie d'échange de déchets pourrait ainsi détruire la source de revenus d'une part non négligeable de la population. C'est pourquoi, il est nécessaire de prendre en compte tous les paramètres.

La coopération technique allemande a lancé au début des années 2000, un programme en Asie pour soutenir les gouvernements à établir une stratégie de développement industriel basée sur les éco-parcs. En effet, elle estime que pour améliorer la capacité de gestion de l'environnement, il est nécessaire d'augmenter les interactions entre l'Etat, l'industrie, la recherche, et l'éducation en intégrant le secteur privé en tant que partenaire. Le rapport de la GTZ [Fleig 2000] fait l'état des lieux des expériences d'éco-parcs dans les pays industrialisés et dans les pays en développement. Il détermine qu'une des conditions de base pour le succès d'un parc éco-industriel est qu'il doit offrir des avantages compétitifs pour les différents partenaires. Ainsi le contexte légal peut être favorable ou non au développement de tels parcs: *"dans un contexte où les ressources comme l'eau et l'énergie sont largement subventionnées, où les matières premières sont meilleures marché que des matières recyclées, où la mise en décharge et la pollution de l'air ne résultent pas en des coûts importants, et où il n'y a pas de pression des consommateurs pour améliorer les performances environnementales, il peut être très difficile de convaincre une entreprise de faire des efforts pour participer à un éco-parc"* [Fleig 2000]. Cependant, il remarque également que la législation en faveur de l'environnement, dans les pays en développement et nouvellement industrialisés progresse rapidement. Il estime également que les ministères pour le développement et la gestion des industries des gouvernements d'Asie de l'Est sont très puissants.

3.4.4. Amérique latine et Caraïbes

Ashton [2004] rapporte en 2004 que des recherches académiques sont en cours dans cette région et explorent les opportunités d'instaurer des Symbioses Industrielles au Chili, au Honduras, dans les Caraïbes (Porto Rico, Trinidad et Tobago, Jamaïque et Haïti). Mais

aucun processus de création de Symbiose Industrielle (sous forme d'écoparc) n'est actuellement achevé. L'élaboration de Symbioses Industrielles dans cette région du monde est donc très liée à la recherche académique. Il existe cependant également des exemples de Symbioses Industrielles dans cette région du monde, qui ne suivent pas une stratégie de type écoparc planifié par les autorités, mais qui sont des échanges de matières instaurés entre deux acteurs industriels individuels. C'est notamment le cas du secteur cimentier. Ces expériences se mettent souvent en place par intérêt économique. Etant peu suivies par des chercheurs, elles sont cependant très peu documentées au niveau de la littérature scientifique.

A Porto Rico, des Symbioses Industrielles sont nées spontanément dans deux zones industrielles (Guayama et Barcelonetta) à partir des liens sociaux entre industriels en raison de leur intérêt financier et de la nécessité environnementale. Sur cette base, des chercheurs de l'université de Yale [Chertow and Lombardi 2004] ont évalué et proposé de nouvelles Symbioses Industrielles intéressantes.

Porto Rico est une petite île des Caraïbes qui fait partie du Commonwealth des Etats-Unis (Etat libre associé). Comme les autres îles de cette région, elle a longtemps été relativement pauvre. Mais elle s'est rapidement développée industriellement, en particulier dans le domaine pharmaceutique et la pétrochimie. Chertow et Lombardi [2004] rapportent une expérience de Symbiose Industrielle dans la localité de Guayama. Cette ville de 44'000 habitants avait, jusqu'aux années 1940, une économie basée principalement sur l'agriculture. Dès 1950, a commencé un processus d'industrialisation légère. Une raffinerie pétrochimique a été installée en 1966, suivie dans les années 1980 par plusieurs usines pharmaceutiques, ainsi que quelques petites usines de manufacture (aluminium, plastique, soins dentaires, ...). En 2002, une usine de production électrique à partir de charbon s'y est également implantée et utilise de l'eau issue d'une usine de traitement des eaux usées. Chertow fait remarquer que les industries présentes sont très similaires aux industries ayant abouti à la création de la Symbiose Industrielle de Kalundborg. Les ressources en eau étant limitées, un petit nombre d'échanges bilatéraux existent déjà à Guayama, notamment de la vapeur d'eau sous pression ainsi que de l'eau douce. Chertow propose de nouveaux échanges, en s'inspirant de l'expérience de Kalundborg.

L'évaluation des Symbioses Industrielles existantes, ou en cours de réalisation, montre que les différents partenaires sont tous bénéficiaires financièrement et que les impacts environnementaux sont réduits. Certains acteurs ne reçoivent que peu de bénéfices financiers, mais leur intérêt est alors plus de justifier leur présence aux yeux de la population locale par une preuve de leur bonne volonté à établir des stratégies limitant les impacts sur les ressources-clés comme l'eau. Un autre facteur important est la proximité des industries les unes par rapport aux autres [Chertow *et al.* 2008]. Ashton [2008] a montré que les liens formels et informels, la communication et la confiance entre les managers jouent un rôle très important dans la mise en place de Symbioses Industrielles.

Ometto *et al.* [2007] présentent un projet de Symbiose Agro-Industrielle au Brésil, établie autour d'une production d'alcool de canne à sucre et de sorgho, en vue de produire de l'énergie. Le projet propose une gestion intégrée de la production de combustible renouvelable, d'électricité et de nourriture biologique. Avec un retour sur investissement de cinq ans, ils montrent que le projet va certainement augmenter le développement de la région, avec des bénéfices sociaux et environnementaux qui sont largement nécessaires dans de nombreuses régions du Brésil et d'autres pays en développement. Les bénéfices et innovations socio-environnementaux sont notamment la rationalisation d'utilisation de terrain, les méthodes, procédés et procédures pour minimiser les intrants et équipement nécessaires, l'abandon des techniques de brûlage des champs, et l'adoption de technologies de pointe.

3.4.5. Afrique

L'utilisation des concepts d'Ecologie Industrielle semble être bien moins répandue en Afrique qu'en Asie. Nous constatons également que l'Asie a suivi un autre chemin de développement et qu'un grand nombre de pays ont eu une industrialisation rapide, et font donc maintenant partie des pays dits émergents. En Afrique, au contraire, l'industrie est très peu développée, et il n'existe pas, comme en Asie ou en Europe, de grandes zones industrielles. L'Asie, l'Europe et l'Amérique ont été confrontées à de grandes pollutions industrielles, alors que l'Afrique y a globalement encore échappé : non pas parce que ses industries sont plus propres, mais parce qu'elles sont moins nombreuses. De plus, le secteur informel est tellement répandu, qu'il occupe jusqu'à 90% des travailleurs [Kemajou *et al.* 2008]. Cependant, les concepts d'Ecologie Industrielle font aussi petit à petit écho en Afrique, et nous pouvons recenser un petit nombre d'expériences intéressantes.

Cependant, dans un contexte où la pauvreté et la misère règnent, et l'économie étant basée sur les activités informelles, les déchets non utilisés sont peu nombreux. En effet, tout déchet est souvent déjà source de revenu pour un entrepreneur ou l'autre. Par contre de nombreux efforts pourraient être faits pour améliorer l'utilisation de ces déchets, mais cela remettrait en question les utilisations actuelles et les sources de revenus pour de nombreuses familles. C'est pourquoi la diffusion des concepts d'Ecologie Industrielle passant par une meilleure valorisation des déchets convainc peu de monde en Afrique. Il est donc nécessaire d'aborder ces questions sous un nouvel angle, plus porteur, qui corresponde aux problèmes rencontrés en Afrique.

Analyses des flux de matière

Deux analyses des flux de matière (voir annexe 3) ont été réalisées par Ecologie-Industrielle Conseil au Sénégal [EIC 2005] et au Togo [EIC 2006], sous mandat de Dagriss³ (entreprise de l'Etat français pour la production de coton).

³ Actuellement privatisée sous le nom Geocoton, Dagriss (pour Développement des Agro-Industries du Sud) était anciennement la Compagnie française pour le développement des fibres textiles (CFDT)

Au Sénégal, EIC a évalué les flux de matière régionaux liés à la production cotonnière et à l'égrenage du coton [EIC 2005]. Ce bilan a permis d'identifier l'importance du transport, ainsi que le potentiel lié aux lignes de train existantes. Par ailleurs, des perspectives liées au développement du tourisme ont également pu être proposées. De nombreuses propositions ont été faites pour créer des liens avec l'économie locale, en particulier les perspectives d'avoir une gestion collective des déchets et coproduits, qui permettrait d'avoir un pouvoir de négociation renforcé face aux sous-traitants et fournisseurs.

Au Togo, EIC a évalué les flux de matière liés à la production d'huile de coton et de karité par l'entreprise Nioto [EIC 2006]. Le premier apport du projet a été de mettre en lien l'entreprise Nioto et le milieu socio-économique du Togo. En apprenant à connaître ses plus proches voisins, et en connaissant précisément ses flux de matière, Nioto est en mesure d'identifier les potentiels de Symbiose Industrielle et de réduction de déchets. Il y a notamment un potentiel non négligeable de production d'engrais à partir des déchets organiques de production actuellement non utilisés.

Ces deux exemples ont montré l'intérêt d'utiliser les concepts d'Ecologie Industrielle à l'échelle d'une entreprise et d'une région, en vue de créer des liens entre entreprises voisines et éventuellement les associations de paysans locaux. Une réduction des déchets est possible et des liens d'échanges de matière peuvent être créés. Nous voyons donc bien que l'Ecologie Industrielle a permis d'améliorer les trois aspects sociaux, environnementaux et économiques.

Symbioses industrielles

Quant aux Symbioses Industrielles existantes, et des parcs éco-industriels, Ashton [2004] rapporte un petit nombre d'activités d'Ecologie Industrielle en Afrique. Elle mentionne la brasserie Tunweni en Namibie qui était en 1997 une "initiative intégrée de système-vie" de l'université des Nations Unies au Japon.

Un autre exemple est la "Nuclear Energy Corporation of South Africa" qui détient et gère un parc éco-industriel avec quatre-vingts entités industrielles qui partagent leurs services, en incluant du recyclage mais pas d'échange de sous-produits.

Potentiel de l'Ecologie Industrielle en Afrique

Patterson [2008] estime qu'il y a un grand potentiel de développement économique pour l'Afrique Sub-saharienne, basé sur le développement d'une économie écologique. En effet, il affirme que ce domaine, encore à ses balbutiements, sera la prochaine percée industrielle, et que l'Afrique a là une opportunité de devenir un leader mondial. Le principe est une industrie qui utilise moins de matières et d'énergie, produit moins de gaz carbonique et dont les produits sont recyclables. Cependant, il estime que les pays sub-sahariens ont besoin pour cela d'avoir des ingénieurs locaux formés à ces techniques. Et que les gouvernements doivent donc faire en sorte d'obtenir des accords pour que les étudiants africains puissent

venir étudier dans les meilleures universités mondiales, et ainsi acquérir des compétences dans ce domaine.

Kuada et Sorensen [2005] présentent les perspectives liées à la création de liens inter-firmes entre des entreprises danoises et ghanéennes. Ils montrent qu'un des éléments importants est la présence d'un tiers, organisateur des rencontres et facilitateur des contacts. Dans le cas présenté, le tiers en question est la coopération danoise, Danida, qui soutient la constitution de plateformes d'affaires entre le Danemark et les pays en développement.

Une étude a été mandatée par ICAST en 2000 [Schmidlin 2000] afin d'identifier le potentiel de l'Ecologie Industrielle en Afrique, et en particulier au Cameroun. Cette mission exploratoire avait pour objectif d'évaluer les flux de matières et d'énergie dans un certain nombre d'établissements industriels représentatifs du pays, et d'identifier avec les personnes concernées les optimisations possibles. Elle a montré que les principes de l'Ecologie Industrielle sont actuellement loin d'être appliqués de manière systématique, mais que tous les interlocuteurs étaient très intéressés et favorables à ces principes. *"Les possibilités et les bénéfices que cette approche pourrait apporter dans un pays comme le Cameroun sont immenses."* [Schmidlin 2000]

Suite à cette étude, Kemajou *et al.* [2008] évaluent le potentiel de l'Ecologie Industrielle pour le développement industriel au Cameroun. Selon eux, l'Ecologie Industrielle pourrait contribuer à l'optimisation de la consommation de ressources en:

- valorisant les déchets ménagers et les déchets industriels
- récupérant le gaz produit par les raffineries de pétrole
- produisant de l'électricité à partir de la biomasse
- traitant l'eau et protégeant l'eau de boisson
- assurant des complémentarités entre la production industrielle et les activités informelles de productions d'objets artisanaux.
- induisant une réflexion sur le positionnement des zones industrielles (aménagement territorial)

Cependant, ils estiment que *"le développement industriel et les principes de l'Ecologie Industrielle sont actuellement incompatibles dans le contexte des industries camerounaises. [...] L'explosion du secteur informel ces dernières années [...] et l'utilisation irrationnelle des matières et de l'énergie [...] rendent difficile l'implémentation de solutions basées sur l'Ecologie Industrielle."* Nous comprenons que Kemajou *et al.* n'envisagent d'utiliser les principes de l'Ecologie Industrielle que sous la forme d'une stratégie nationale visant à développer les parcs éco-industriels sur la base d'une initiative de l'Etat. Cependant, comme l'a montré Ramaswamy en Inde [Ramaswamy 2004a], il existe bien d'autres manières d'utiliser les concepts d'Ecologie Industrielle qui sont cohérentes avec la part importante du secteur informel.

Par ailleurs, Kituyi [2004a] évalue l'intégration d'approches basées sur le cycle de vie pour les politiques de développement nationales en Afrique, et il montre à travers quelques exemples que les concepts d'Ecologie Industrielle ont un très grand potentiel pour *"améliorer l'environnement, réduire la pauvreté, réduire les problèmes de santé humaine et stimuler un développement social. Il y a cependant actuellement un manque de support politique, institutionnel et légal [pour une utilisation efficace de ces concepts à l'échelle nationale]" [Kituyi 2004b]*. Il montre, comme Chiu et Yong [2004] précédemment, que dans les pays en développement, l'Ecologie Industrielle doit être utilisée selon un angle un peu différent duquel elle est abordée dans les pays industrialisés. En effet, *"dans les pays en développement, il y a un besoin de remplir les pré-conditions sociales, institutionnelles et politiques ainsi que la formation/information sur les concepts de Life Cycle Thinking et Management, plutôt que de développer les aspects techniques et d'ingénierie de l'approche cycle de vie"* [Kituyi 2004a]. *"Une approche basée sur le cycle de vie n'est pas seulement un moyen d'évaluer les impacts environnementaux d'une activité, mais également un moyen de comprendre et visualiser l'ensemble des conséquences de décisions d'un groupe d'acteur en vue de planifier le développement."* [Thabrew et al. 2009]

Industries et Symbioses en Afrique de l'Ouest

Le secteur industriel ouest-africain couvre une certaine diversité d'activités, comme :

- L'extraction des matières premières, mines et premières transformations : Ciment, Or, Aluminium, Diamant, Uranium, Pétrole et autres minerais
- Le secteur agro-alimentaire : Brasseries, Usines d'égrenage du coton, Production d'huile de palme, Production de bois, Agriculture, Elevage, Ecossage des arachides, Huileries, Meunerie et production de farine
- Le secteur de transformation : Tannerie, Industrie plastique, Savonnerie, Tabac, etc.
- La production d'énergie : Barrages, Usines hydro-électriques, Raffineries, etc.
- Autres secteurs : Production de briques (en terre ou en ciment), Télécommunication, Production/livraison/infrastructure pour l'eau, etc.

Une grande partie de ces industries est située dans les zones rurales, proches du lieu de production des matières premières. Les infrastructures sont généralement assez vétustes et de grands secteurs sont à un niveau artisanal ou préindustriel, comme c'est également le cas en Inde [Erkman and Ramaswamy 2003]. Il y a également un grand potentiel de valorisation et de transformation des matières exportées, qui permettrait à la sous-région de ramener une partie des capitaux dont elle a besoin pour se développer. Cependant, malgré les pressions de l'aide internationale, de la Banque Mondiale et du FMI en vue d'industrialiser l'Afrique, il semble que cela n'ait pas abouti à une intensification du secteur industriel.

Les industries lourdes sont dans ce contexte plus propices à l'instauration de Symbioses Industrielles car elles sont nécessairement organisées autour d'un seul acteur central, et ont des infrastructures et des volumes de production importants.

Nous pouvons envisager pour chacune de ces industries toutes sortes de synergies avec les populations rurales, de l'échange de matière à la valorisation de déchets ou d'énergie, en

passant par la mutualisation d'infrastructures. Chaque usine et chaque région peut ainsi réfléchir et identifier les synergies et les méthodes de mise en œuvre les plus appropriées au contexte et apportant le plus de bénéfice aux différents acteurs.

3.4.6. Conclusions

Cette revue des expériences de Symbioses Industrielles dans les pays en développement n'est bien entendu pas exhaustive. Cependant, elle permet de tirer quelques informations importantes sur les modes de mise en œuvre, les stratégies utilisées, les acteurs et les objectifs. Nous remarquons ainsi plusieurs choses :

- Dans les expériences présentées, les Symbioses Industrielles sont principalement vues comme un moyen de réduire les impacts environnementaux et de planifier un développement industriel "propre". Il s'agit donc de réduire les impacts environnementaux tout en générant un profit économique.
- La majorité des expériences sont dans des pays émergents, ou dans des pays en développement nouvellement industrialisés, qui possèdent des industries lourdes et très polluantes, ainsi que des zones industrielles plus ou moins diversifiées et complémentaires. Il en résulte un grand nombre d'opportunités de réduire les impacts.
- De nombreux exemples montrent une stratégie de développement éco-industriel définie par l'Etat. En effet, la diffusion des concepts de Symbioses Industrielles nécessite un travail d'information et d'incitation. Les Etats sont souvent soutenus par des organismes d'aide internationale comme le PNUD ou la GTZ. Cependant, nous trouvons également quelques expériences, comme à Guigang, où une stratégie a été menée par le secteur privé au départ, dans une logique de rentabilisation maximale des ressources, et bien avant l'émergence du concept d'Ecologie Industrielle proprement dit.
- Les exemples indiens peuvent plus se rapprocher du contexte africain, où le secteur informel est dominant.

Nous constatons par ailleurs qu'il y a très peu d'expériences en zones rurales entre un partenaire industriel et la population locale ou l'économie informelle. Un projet de ce type-là serait donc une innovation, dont les stratégies de mise en œuvre et les objectifs à atteindre restent à définir. Un tel projet ferait partie de la famille des Symbioses Agro-Industrielles.

Un des échanges de matière qui pourrait être envisagé dans de tels projets et celui de l'utilisation de produits agricoles à des fins énergétiques (biocarburants). Cependant la production de biocarburants dans une région où la sécurité alimentaire semble fragile, où les sols sont pauvres et où le climat est aride pose de nombreuses questions. Le prochain paragraphe donnera à cet effet un bref résumé de la thématique des biocarburants, et de leur utilisation dans les pays en développement. La question de leur évaluation environnementale sera également abordée.

3.5. Biocarburants – matière d'échange pour les Symbioses Agro-Industrielles dans les pays en développement

Lorsqu'on s'intéresse aux Symbioses Agro-Industrielles, le thème des biocarburants devient vite important. En effet, la production de combustible à partir de résidus agricoles est devenue, ces dernières années, une filière qui intéresse de nombreux acteurs et subit de nombreuses pressions. Que l'on utilise des déchets ou une culture dédiée, les biocarburants sont l'un des moyens envisagés pour les échanges de matière entre une entreprise et une exploitation agricole. Cette utilisation des produits agricoles pose de nombreuses questions et nécessite généralement une justification environnementale ou éthique. Je présente donc ici une revue générale de ce sujet.

Le domaine des biocarburants, aussi nommés agrocarburants, est un thème très large, abondamment discuté dans la littérature. Afin de ne pas égarer le lecteur dans une information trop fournie, je vais ici présenter synthétiquement le sujet et aborder uniquement les questions liées à l'environnement.

3.5.1. Carburants de première, seconde et troisième génération

La substitution d'énergie fossile par des biocarburants liquides est maintenant relativement courante [ADIT 2005]. Jusque dans les années 1980, cette solution était considérée comme une solution miracle à la fin programmée des carburants fossiles. Des pays surproducteurs de céréales ou de canne à sucre comme les Etats-Unis et le Brésil y ont vu de grandes opportunités d'écouler leurs denrées avec une plus haute valeur ajoutée [Sheehan *et al.* 1998]. Cependant, dès les années 1990, des voix se sont élevées pour remettre en question cette solution et pointer du doigt les nombreux problèmes que la production de biocarburants à large échelle pourrait causer [Giampietro *et al.* 1997], et montrer que cette solution ne résoudrait pas les problèmes de croissance de la consommation énergétique et de la dépendance de nos sociétés à l'énergie [EEA 2006].

Pour les combustibles liquides, on peut ainsi produire du diesel à partir de colza, de tournesol ou de soja et de l'essence à partir de canne à sucre, de betterave, de blé ou de maïs. Pour le biodiesel, il s'agit principalement d'extraire l'huile des graines puis de la transformer par transestérification [ENERS 2004; Benabadji 2006], alors que pour l'essence une fermentation du sucre ou de l'amidon est nécessaire pour produire l'éthanol qui est ensuite transformé en essence [Poitrat 1999]. On parle alors de biocarburants de première génération. Ils sont actuellement produits de manière industrielle [Basha *et al.* 2009; Demirbas 2009].

Les biocarburants de seconde génération sont issus de la transformation de biomasse lignocellulosique, c'est-à-dire de bois et tout ce qui contient de la lignine et de la cellulose. Ils offriraient de très grands avantages environnementaux, auraient de meilleurs rendements et auraient l'avantage de ne pas être en compétition avec des cultures vivrières. Mais ils demandent des procédés de production plus complexes qui sont actuellement uniquement

exploitables en laboratoire [Jungbluth *et al.* 2008]. Les producteurs espèrent une industrialisation des procédés pour les années 2020.

Enfin, nous voyons émerger les biocarburants de troisième génération, qui proposent de produire de l'huile à partir d'algues, qui offriraient l'avantage de consommer du CO₂ sans utiliser de terre fertile et d'avoir de meilleurs rendements. Ils n'en sont encore qu'aux premiers essais, qui semblent cependant très prometteurs [Sander and Murthy 2010].

3.5.2. Biocarburants solides : la biomasse comme combustible

Les combustibles liquides ont l'avantage de pouvoir être utilisés dans les moteurs existants et de manière mobile, en particulier pour tout ce qui concerne le transport. C'est pourquoi ils ont été l'objet de nombreuses recherches et développements. La viscosité de l'huile, l'humidité et la température d'auto-allumage sont des facteurs limitants pour leur utilisation [DAGRIS 2005; Rosillo-Calle *et al.* 2007]. C'est pourquoi le biodiesel est actuellement utilisé mélangé à du diesel fossile [Poitrat 1999].

La biomasse solide est largement utilisée comme combustible dans les pays en développement, comme le montrent Yevich et Logan [2003]. Elle est principalement utilisée comme combustible domestique et brûlée à l'air libre. La FAO [2009] a montré, dans une récente étude, les bénéfices de l'utilisation de bioénergies produites localement pour améliorer les sources de revenus rurales et ainsi améliorer les conditions de vie des populations rurales.

Cependant, l'utilisation de biomasse solide pour remplacer des combustibles fossiles est encore assez peu répandue car elle pose plusieurs problèmes : notamment, elle nécessite un moteur adapté, ne peut pas être transportée, et a un faible pouvoir calorifique en rapport au volume. Cependant, elle offre l'énorme avantage de nécessiter un minimum de transformation, principalement mécanique, et ainsi d'avoir un minimum de pertes inutiles. Nous connaissons la valorisation de déchets sous forme thermique, comme les ordures ménagères qui servent à produire de la chaleur à distance par exemple ou les pneus usés qui sont utilisés pour la production de ciment. Il existe également quelques exemples d'utilisation de déchets végétaux dans la production de ciment : déchets de riz, café et coques de palmes [Lafarge group 2007, 2009a, 2009b, 2009c]. Ces exemples illustrent la faisabilité d'une telle utilisation, mais également les freins. En effet, la biomasse ayant une capacité calorifique relativement basse, elle ne peut pas être utilisée seule pour atteindre des températures élevées.

3.5.3. Impacts environnementaux

L'intérêt des biocarburants est souvent vérifié lorsqu'on utilise des déchets de production agricole pour les produire. En effet, la culture n'étant pas réalisée dans le but de faire un biocarburant, mais de produire de la nourriture, seule une petite partie des impacts de la production peut être attribuée aux biocarburants. C'est le cas par exemple de la

biométhanisation de compost ou de fumier, ou de l'utilisation de la rafle⁴ du maïs pour en faire du biocarburant. Cet avantage disparaît dès que l'on a une culture dédiée.

L'évaluation des impacts environnementaux et de la réduction de la consommation d'énergie fossile liés à la production et l'utilisation des biocarburants a déjà fait l'objet de nombreuses publications (par exemple : [Kaltschmitt *et al.* 1997; PWC 2002; Laney 2006; Zah *et al.* 2006; Ndong *et al.* 2009; Su and Lee 2009; Zah *et al.* 2009]). En effet, la production de biocarburant dédiée nécessite l'utilisation de machines agricoles consommant du pétrole ainsi que des intrants (fertilisants et pesticides) eux aussi gourmands en énergie [Pimentel 2003].

Par ailleurs, les questions de compétition entre une utilisation de l'agriculture afin de nourrir la population mondiale, et une utilisation afin de fournir une source d'énergie "verte" aux pays déjà très consommateurs d'énergie fossile ont fait l'objet de nombreuses controverses [Pimentel 2003]. En effet, nous pouvons nous poser la question de la moralité de produire des biocarburants dans le but de les exporter vers des pays industrialisés (par exemple l'Europe), à partir de cultures vivrières et utilisant des terres fertiles dans des pays où la sécurité alimentaire n'est pas garantie pour la majorité de la population (par exemple l'Afrique) [GRAIN 2007; Rulli 2007; Schwab Castella 2007; Ziegler and Cuénod 2007]. Cependant, la production de biocarburants dans ces contextes-là peut aussi être vue comme source d'effets bénéfiques pour l'agriculture et les populations rurales, autant bien en termes environnementaux que socio-économiques [Mathews 2008; FAO 2009; Mangoyana 2009; Ndong *et al.* 2009; Phalakornkule *et al.* 2009].

Conscients des potentiels et risques pour la durabilité que présentent les biocarburants, différents acteurs de la chaîne de production mondiale de biocarburants se sont associés autour d'une table ronde pour définir des critères et un référentiel d'évaluation. Il s'agit de la Table Ronde sur la Durabilité des Biocarburants, dont je parlerai plus en détail au paragraphe 3.9.3.

Deux articles font une importante revue de la littérature concernant l'évaluation environnementale des biocarburants par l'ACV. Il s'agit des articles de von Blottnitz et Curran [2007] ainsi que de celui de van der Voet *et al.* [2010].

Von Blottnitz et Curran [2007] font une révision de 47 études du cycle de vie de bioéthanol. Ils montrent que la majorité des analyses se concentrent sur les aspects de gain énergétique net et de gaz à effets de serre [Reijnders and Huijbregts 2007]. Quelques études s'intéressent également aux autres types d'impacts définis dans la méthodologie ACV. Le bioéthanol se produit soit en culture dédiée, soit à partir de déchets de canne à sucre, pommes de terre, maïs, blé, manioc, betterave sucrière, ou de déchets ligno-cellulosiques. Une grande partie des études s'intéresse au bioéthanol, produit et utilisé dans les pays d'Europe, d'Amérique du

⁴ Partie centrale d'un épi de maïs à laquelle tous les grains sont accrochés.

Nord et d'Australie. Un petit nombre d'entre elles traite des cultures chinoises, philippines, indiennes ou sud-africaines. Les auteurs observent que la canne à sucre fournit le meilleur rendement énergétique à l'hectare. Toutes les études analysées montrent que le cycle de vie du bioéthanol est moyennement à très bénéfique en termes de protection du climat et conservation des énergies fossiles. Les autres catégories d'impact ne sont par contre globalement pas en faveur du bioéthanol. Les auteurs recommandent donc de ne plus dépenser de temps à faire d'autres analyses basées sur l'énergie, mais plutôt de s'intéresser à diminuer les autres types d'impacts liés à l'agriculture qui sont l'acidification, l'eutrophisation, le smog photochimique, la toxicité humaine et environnementale, l'utilisation d'espace et la biodiversité.

L'article [von Blottnitz and Curran 2007] parle des cultures à haut rendement à l'hectare, laissant entendre que le sol est une ressource inépuisable, qu'il suffit d'ajouter les fertilisants nécessaires et de l'eau pour que la culture puisse perdurer. Il ne fait aucune mention du cycle de matière lié au renouvellement de l'humus, et ne parle pas de durabilité ni de nombre d'années pendant lesquelles la culture peut avoir lieu. En effet, ces problèmes sont liés intrinsèquement à l'activité de l'agriculture qui consiste à exporter une partie de la biomasse de son site de production, et à la remplacer d'une manière ou d'une autre.

L'article de van der Voet *et al.* [2010] examine 67 études sur les impacts environnementaux de biocarburants publiées entre 2005 et 2009. Il identifie plusieurs sources expliquant les différences des résultats et indique de quelle manière l'ACV de biocarburants pourrait être utile pour soutenir des choix politiques.

Les ACV étudiées indiquent en général des bénéfices dans le domaine des émissions de gaz à effet de serre, mais de gros inconvénients pour ce qui est de la toxicité et de l'eutrophisation. Van der Voet *et al.* montrent que les résultats des études récentes sont parfois encore très différents entre eux, malgré les connaissances plus précises que nous avons des processus et des méthodes pour les analyser. Il est vrai que les situations réelles étudiées sont parfois très hétérogènes. Mais ces différences dans les résultats sont souvent à attribuer aux choix méthodologiques de l'évaluation, dont la description est souvent lacunaire dans les publications, malgré le caractère essentiel de ceux-ci.

Un des choix méthodologiques pouvant poser problème est la question des allocations ou, en d'autres mots, comment attribuer les émissions et consommations à des coproduits. Un autre choix méthodologique concerne la prise en compte du CO₂ biogénique [Reijnders and Huijbregts 2008; Börjesson 2009]. La définition de l'unité fonctionnelle ou des limites du système sont également des sources de divergences importantes.

Bien que la majorité des ACV montrent des résultats bénéfiques pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, un point important est le terrain utilisé, et les changements d'utilisation. Par exemple lors de l'utilisation de terrain précédemment utilisé par des forêts, on observe d'importantes émissions de CO₂ qui peuvent être problématiques. Cependant très peu d'études s'intéressent aux catégories d'impact "utilisation du sol" et "consommation d'eau".

Van der Voet *et al.* concluent en disant que "*les ACV peuvent être une part importante de l'analyse de la durabilité d'un biocarburant, mais ne peuvent pas inclure l'ensemble des aspects pertinents. En particulier les risques de compétition avec l'agriculture vivrière et les aspects socio-économiques locaux et régionaux doivent être évalués avec d'autres outils*".

Une autre étude, celle de Corbière-Nicollier *et al.* [2011] va dans ce sens également et propose des indicateurs pour évaluer la durabilité en termes environnementaux, économiques et sociaux. Les auteurs se basent pour cela sur trois facteurs : la pertinence, la fiabilité et l'adaptabilité au contexte local.

Cependant l'Analyse du Cycle de Vie n'est pas le seul outil d'évaluation environnementale utilisé pour les biocarburants. Plusieurs groupes de travail réfléchissent à définir des critères [Buchholz *et al.* 2009; RSB 2009c] et un cadre pour une production durable des biocarburants [Smeets *et al.* 2005; Fritsche *et al.* 2009].

3.5.4. Production de biocarburants et changement d'utilisation du sol

Une discussion importante a lieu au sein de la communauté scientifique au sujet des solutions à proposer et de la quantification des impacts environnementaux directs liés aux changements d'utilisation du sol pour la production de biocarburants, ainsi que les effets indirects tels que déplacements de cultures [Ecofys 2009; Fritsche *et al.* 2009; Searchinger 2009]. En effet, la production de biocarburants apportant une valeur ajoutée intéressante, il y a de forts risques que des terres très fertiles précédemment dévolues aux cultures vivrières, à l'élevage ou à des forêts disparaissent ou soient déplacées sur des terres moins fertiles, créant ainsi de nombreux nouveaux risques environnementaux (érosion, perte de biodiversité, etc.).

Ce sujet n'a pas encore abouti à un consensus au sein de la communauté scientifique, mais des propositions sont faites pour prendre en compte ces aspects problématiques. C'est par exemple le cas d'un projet intitulé "Bio-global" financé par l'Agence fédérale allemande pour l'environnement et qui a fait l'objet d'une publication [Fritsche *et al.* 2010] dans laquelle Fritsche *et al.* proposent un modèle pour inclure des émissions de gaz à effet de serre biogéniques afin de quantifier les effets indirects des changements d'utilisation du sol.

3.5.5. Conclusion

Cette brève revue des biocarburants et de leurs impacts environnementaux nous permet d'identifier les principales questions qui pourraient être soulevées lors d'une utilisation dans les pays en développement, et nous donne un cadre pour leur évaluation.

Si, idéalement, des biocarburants sont produits pour réduire les impacts environnementaux, nous réalisons que c'est surtout l'épuisement des ressources énergétiques fossiles et le réchauffement climatique qui sont réduits. Les autres aspects de l'environnement sont, eux, encore souvent ignorés. Lors d'une utilisation de biocarburants dans les pays en

développement, ces autres aspects doivent être pris en compte, de même que les implications sociales et économiques pour la population locale.

3.6. Evaluation et suivi des impacts environnementaux des Synergies Industrielles

Après cet encart sur les biocarburants, une matière spécifique pouvant être la source de potentielles Symbioses Industrielles dans les pays en développement, nous pouvons revenir sur l'utilisation de l'Ecologie Industrielle dans ces pays-là et sur l'évaluation environnementale des Symbioses. Comme nous l'avons vu précédemment, l'utilisation des concepts d'Ecologie Industrielle dans les pays en développement a comme objectif premier d'être une stratégie pour réduire les impacts environnementaux de manière économiquement intéressante.

Intuitivement, nous percevons que les solutions proposant de réduire la consommation de ressources et évitant de produire des déchets doivent être bénéfiques pour l'environnement. Mais cela n'est pas toujours le cas : il est donc nécessaire de vérifier formellement que les impacts environnementaux liés à la création de Symbioses Industrielles sont bien réduits.

Ce paragraphe fera le point sur les principaux outils présentés dans la littérature ayant été utilisés à cet effet, avec pour but de choisir l'outil le plus adéquat pour l'évaluation d'une Symbiose Agro-Industrielle réalisée en Afrique de l'Ouest. L'outil que nous cherchons doit avoir une perspective holistique et permettre d'identifier les impacts environnementaux potentiels résultants de la Symbiose Industrielle créée. Il doit permettre d'évaluer autant les impacts à court et long terme ainsi que ceux ayant lieu localement ou globalement.

3.6.1. Revue des outils pour l'évaluation environnementale des Symbioses Industrielles

Plusieurs auteurs ont abordé les questions d'évaluation environnementale des Symbioses Industrielles et je vais présenter leurs analyses ici.

Comme le mentionne van Berkel, il n'existe actuellement pas de méthode communément acceptée pour une telle évaluation. *Les évaluations existantes font essentiellement un bilan des flux de matière, eau et énergie après la symbiose, en référence à un état sans la symbiose* [van Berkel 2010]. Ce type d'évaluation "pseudo-environnementale"⁵ est généralement couplé à une évaluation des bénéfices financiers réalisés. Sokka *et al.* [2008] observent qu'en général, les évaluations de Symbioses Industrielles se concentrent sur un petit nombre de facteurs et sur les impacts qui ont lieu dans l'environnement proche de la symbiose.

⁵ Pseudo-environnementale, car elle ne compare pas les impacts environnementaux, mais seulement les flux de matières

Plusieurs méthodes sont proposées et testées: Ometto *et al.* [2007] utilisent la méthodologie "*Emergy synthesis*" développée par Odum [1996] pour analyser la durabilité d'une Symbiose Industrielle. Cette méthode quantifie la valeur des flux entrants par une estimation du travail directement et indirectement nécessaire à leur production durable dans une perspective systémique, et les transforme en énergie solaire équivalente. Cette méthode très intéressante a cependant le désavantage important d'utiliser un indicateur unique, ce qui implique une agrégation des résultats et de nombreux choix partiellement subjectifs.

Après avoir fait une revue des études existantes, Sokka *et al.* [2008] proposent un cadre d'analyse basé sur "*The Natural Step System Conditions*", afin de pouvoir combiner l'analyse quantitative à une analyse qualitative. Pour l'analyse qualitative, Sokka *et al.* ont défini une série de questions-cadres à poser pour tout projet de Symbiose Industrielle afin de mieux cibler la méthode quantitative à utiliser. Pour la partie quantitative, ils utilisent des outils existants en les combinant : Analyse du Cycle de Vie (ACV), Analyse du Cycle de Vie sociale (ACVs), Analyse de l'Impact Social et Analyse du Risque principalement.

Wolf et Karlson [2008] indiquent que le manque d'analyse environnementale des Symbioses Industrielles provient de la difficulté à les évaluer, en raison de leur complexité. Ils montrent que les ACV et autres outils d'analyse environnementale posent problème pour la définition des limites du système, les perspectives temporelles, les allocations, le manque de précision de certaines données, etc. Ils proposent donc un modèle informatique, intitulé MIND (pour *Method for analysis of INDUSTRIAL energy systems*) pour évaluer les émissions de CO₂ de Symbioses Industrielles, selon une stratégie proche des ACV.

Chertow [1999] estime de son côté qu'une version adaptée du concept d'Analyse du Cycle de Vie, le *Streamlined LCA*, peut être utilisée pour évaluer les Symbioses Industrielles.

Curran [2009] montre également le manque d'outils adaptés et communément acceptés pour évaluer les impacts environnementaux des biocarburants. Elle illustre son propos en testant une dizaine d'outils différents, dont l'empreinte écologique, l'ACV, l'analyse d'exergie, et l'analyse des flux de matière et montre que chacun d'eux a ses forces et ses faiblesses.

3.6.2. Choix d'un outil d'évaluation environnementale

Ainsi, il ressort des exemples présentés que c'est l'Analyse du Cycle de Vie qui est généralement utilisée pour l'évaluation des Symbioses Industrielles, que ce soit sous sa forme complète, sous une forme simplifiée, en tant que cadre ou pour ses bases de données d'inventaire. Cela n'est pas surprenant, car l'ACV et l'Ecologie Industrielle sont issues d'un même mode de pensée systémique. Lifset [2006] montre que l'ACV et l'Ecologie Industrielle (EI) partagent de nombreux points communs. Parmi ceux-ci, le fait que l'ACV et l'EI utilisent l'observation des flux de matière et d'énergie comme le cœur des inventaires sur le cycle de vie, et le fait qu'elles emploient un cadre "du berceau à la tombe" comme moyen d'appliquer une approche systémique de l'analyse environnementale et de la prise de décision.

De même que les autres auteurs, nous constatons que l'ACV, par sa perspective holistique, est un outil adapté pour évaluer les impacts environnementaux d'une Symbiose Industrielle. En effet, l'ACV poursuit les mêmes buts que les Symbioses Industrielles, à savoir une réduction absolue des impacts environnementaux, grâce à une vision intégrant dans l'évaluation toutes les parties du système étant modifiées par le projet mis en place.

De plus, cet outil a certains avantages qui doivent également être pris en compte : en premier lieu, c'est une méthode couramment utilisée dans les grandes entreprises européennes. En effet, elles l'utilisent soit en interne pour évaluer leurs procédés de production et innovations, soit pour une communication en externe (écolabels, communications aux clients et groupes de pression, etc.). La méthodologie est donc comprise par les industriels et les résultats également.

C'est un outil développé et reconnu au niveau international. La communauté des chercheurs est très large et en constante activité pour améliorer l'outil et les bases de données. Cette participation internationale et la norme qui le définit sont une garantie de transparence et d'excellence.

Sur le fond, l'ACV est un outil qui a pour but d'évaluer de nombreux types d'impacts environnementaux, ce qui permet d'éviter une grande partie des biais et autres problèmes liés à l'agrégation des résultats d'impacts. La stratégie d'évaluation est par ailleurs clairement définie dans des normes internationales. La transparence sur les choix méthodologiques et hypothèses est imposée par ces normes et garantissent la qualité de l'évaluation réalisée.

Pour toutes ces raisons, j'utiliserai l'Analyse du Cycle de Vie pour évaluer les impacts environnementaux de la Symbiose Agro-Industrielle présentée dans ce travail.

Néanmoins, nous garderons en mémoire que l'outil a également certaines faiblesses qui devront être résolues. En particulier, c'est un outil d'analyse environnementale qui n'a pas la prétention d'évaluer la durabilité économique et sociale. Cependant, nous verrons au chapitre 6 comment la perspective cycle de vie pourra être étendue à l'évaluation économique et socio-économique de la Symbiose Industrielle.

3.7. Utilisation de l'ACV dans les pays en développement

L'ACV est un outil très puissant qui a déjà largement prouvé ses qualités dans les pays industrialisés. En effet, grâce à des bases de données de bonne qualité, il permet d'évaluer de manière très précise les impacts environnementaux comparatifs de deux produits. Son utilisation dans les pays en développement est jusqu'à maintenant beaucoup moins répandue et de nombreuses pistes de recherche doivent encore être explorées.

Une revue de littérature des propositions de recherche pour une utilisation de l'ACV dans les pays en développement a été faite et est présentée ici. Elle fait l'état des limites actuelles de l'outil, des problèmes rencontrés ainsi que des sources de développement possibles pour qu'il puisse être utilisé de manière adéquate dans les pays en développement.

Cette partie servira également de base au chapitre 6 de ce travail qui proposera une méthodologie d'évaluation spécifiquement adaptée à partir de l'ACV pour une utilisation dans les pays en développement.

3.7.1. La recherche en ACV dans les pays en développement

L'ACV est couramment utilisée en Europe pour comparer différents produits. Méthodologie, inventaires, méthodes d'analyse et conceptualisation y sont développés spécifiquement dans le but d'avoir une analyse au plus proche de la réalité. En Amérique du Nord ou au Japon également, cet outil est adapté et largement discuté au sein de la communauté scientifique et du secteur privé.

La Life Cycle Initiative, conjointement gérée par l'UNEP et la SETAC est l'organe qui chapeaute la recherche en ACV. C'est en son sein que des groupes de travail se réunissent pour traiter les thèmes de recherche et établir des normes internationales. Dans ce cadre, plusieurs groupes de travail ont été définis pour gérer la recherche et l'utilisation de l'ACV dans les pays en développement. Ils sont définis par régions du monde :

- Le groupe ALCALA développe l'outil pour l'Amérique du Sud [Suppen 2005; ALCALA 2009],
- Le groupe ALCANET pour l'Afrique [Ramjeawon 2004; ALCANET 2006]
- Et le groupe SEASIA pour l'Asie [SEASIA 2009].

En Afrique, des groupes de recherche utilisant l'ACV sont actifs notamment en Afrique du Sud, à l'Ile Maurice, au Kenya, au Maroc, en Egypte, au Ghana et au Zimbabwe.

L'utilisation de l'ACV, tel que décrit dans la norme ISO14040, dans le contexte d'un pays en développement présente de nombreux défis que ces groupes tentent de résoudre. On rencontre des difficultés, dès l'étape de définition des objectifs jusqu'à celle de l'interprétation. Cependant, peu d'études font actuellement état de l'utilisation de l'ACV dans les pays en développement et permettent d'en montrer les limites. Un petit nombre d'ACV sont cependant réalisées dans les pays en développement (p. ex. [Pena *et al.* 2002; Roquier 2005; Ntiamoah and Afrane 2008; Ramjeawon 2008; Ntiamoah *et al.* 2009]). Afin de ne pas être confrontés aux limites de l'outil, les auteurs restreignent souvent l'utilisation à un indicateur unique tel que l'énergie ou le CO₂equ (voir par exemple [Ndong *et al.* 2009]).

Nous trouvons cependant un petit nombre d'études qui permettent de faire un bilan général des premières utilisations de l'ACV dans les pays en développement. Le tableau 3.1 présente les problèmes rencontrés de manière synthétique, par étape de réalisation. Les problèmes mentionnés principalement sont le manque de données d'inventaires accessibles, le manque d'intérêt des acteurs concernés, la complexité de l'outil et le manque d'évaluation d'impacts spécifiques.

Tableau 3. 1: Résumé des limitations et besoins pour l'utilisation de l'ACV dans les PVD

1. Inventaire	<ul style="list-style-type: none"> • Manque de données pertinentes (b, d, f, h, i, m) • Besoin de données disponibles de meilleure qualité (c, d, h, m) • Données disponibles non adaptées au contexte des pays en développement (technologies, régulations) (d) • Industriels réticents à fournir des données (a,d) • Données industrielles existantes collectées de manière non cohérente avec l'ACV (a, d)
2. Impacts et méthodes d'analyse d'impact	<ul style="list-style-type: none"> • Méthodes d'évaluation d'impacts non applicables dans le contexte des pays en développement (d, m) • Certaines catégories d'impact actuelles sont adaptées (changements climatiques, pollution de l'air), d'autres doivent être développées (érosion du sol, rareté de l'eau) (b, c, e, f, g, k, m) • Les conditions régionales devraient être prises en compte et il faut clarifier les différences entre les pays en développement et les pays industrialisés (c, l, m) • Trop unilatéral, c'est-à-dire avec une concentration trop importante sur les problèmes environnementaux vus depuis les pays industrialisés (c) • Evaluation uniquement des aspects environnementaux de la durabilité (c) • Les procédures de modélisation des facteurs de caractérisation peuvent ne pas être appropriées (p.ex. transformations chimiques pour l'eutrophisation) (g) • Les facteurs de normalisation ne sont pas adaptés au contexte, ils ne reflètent pas l'état des catégories d'impact en référence à l'environnement naturel local (g, l) • Les mécanismes de pondération subjective ne sont pas une bonne indication de l'importance que la société attribue aux différentes catégories d'impact (g) • Nécessité de tirer profit des connaissances locales et traditionnelles en management des ressources et de l'environnement (f)
3. Méthodologie	<ul style="list-style-type: none"> • Manque de méthodologie appropriée (b), (h) • Outil trop compliqué pour un usage pratique, simplification de la méthodologie d'inventaire nécessaire (a, c)
4. Remarques générales	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de besoin perceptible (b) <ul style="list-style-type: none"> ○ Population peu concernée par l'utilisation de produits favorables à l'environnement (a) ○ Acteurs des pays en développement non intéressés par cet outil (c, m) • Outil qui demande du temps, de l'argent, de l'expertise et la disponibilité des données (a, i) <ul style="list-style-type: none"> ○ Manque d'expertise et savoir-faire en ACV (b, f, m) ○ Manque de moyens financiers (b) ○ Coûts élevés pour la labellisation (c) ○ Beaucoup de charge (temps, coût,...) (c) ○ Manque de possibilités de révision par des pairs et manque de collaboration entre les experts régionaux (d, m) • Les approches cycle de vie ne sont pas en faveur de l'intérêt des pays en développement (Les industries des PVD sont en général moins modernes que celles des pays industrialisés) (c) • Inefficacité du système législatif et inapplication des lois (a) • Besoins d'infrastructure: <ul style="list-style-type: none"> ○ Manque de soutien de certains gouvernements (h, m) ○ Manque d'experts locaux (h, m)

Références : (a) [Arena 2001], (b) [UNEP 1999] et [UNEP *et al.* 2005], (c) [Udo de Haes 2004], (d) [Brent *et al.* 2002] (e)[Brent and Hietkamp 2003], (f) [Sonnemann and de Leeuw 2006], (g) [Brent 2004], (h) [Zakaria *et al.* 1999], (i) [Bordia 2002, 2004], (k)[Goedkoop 2005], (l) [von Blottnitz 2005], (m) [Kituyi 2004a]

Les observations présentées au tableau 3.1 sont en partie basées sur des consultations de parties prenantes de pays en développement [UNEP 1999; Udo de Haes 2004; UNEP *et al.* 2005]. Leur objectif est d'intégrer des opinions multiples. C'est également le cas de l'article de Zakaria *et al.* [1999] ou de celui de Patterson [2008] qui rapportent l'état des besoins pour la diffusion de l'Analyse du Cycle de Vie en Asie et Pacifique ainsi qu'en Afrique, et qui mentionnent le besoin d'être soutenu par les gouvernements pour que des experts régionaux puissent émerger et porter la diffusion de l'outil. Ils mentionnent également le besoin d'une méthodologie standardisée adaptée au contexte local et d'un développement de bases de données de qualité.

Reprenons le tableau 3.1 dans l'ordre et commentons les principaux problèmes identifiés.

3.7.2. Besoins concernant l'inventaire

Concernant l'inventaire, tout le monde s'accorde pour reconnaître le manque de données d'inventaire. En effet, les données existantes ne sont pas adaptées au contexte des pays en développement car elles représentent principalement les technologies européennes ou nord-américaines. Les données adaptées au contexte sont encore trop peu nombreuses et d'une qualité insuffisante, même si des efforts sont faits de ce côté-là (voir par exemple [Eshun *et al.* 2010]). Cependant, les chercheurs souhaitant combler ce manque sont quotidiennement confrontés aux réticences des industriels, qui encore plus qu'en Europe, gardent secrète toute information sensible. Par ailleurs, il faut reconnaître qu'en l'absence de lois restrictives, de nombreux flux ne sont tout simplement pas connus des industriels eux-mêmes.

De plus, une grande partie des activités économiques ne sont pas déclarées officiellement et forment le "secteur informel". Ce secteur ne respecte aucune régulation ou protocole industriel, n'est pas organisé et a donc une consommation de matières variant énormément d'un producteur à l'autre. Il n'est donc pas possible de faire un inventaire générique représentatif des activités d'un tel secteur.

3.7.3. Besoins concernant l'analyse des impacts

A propos des méthodes d'analyse d'impacts, il ressort de la littérature que celles-ci ne sont pas parfaitement adaptées dans les pays en développement. En effet, elles ne considèrent pas certaines spécificités régionales, et donc les impacts environnementaux critiques de ces régions (par exemple désertification, érosion,...). Les méthodes existantes sont adaptées à l'évaluation des problèmes environnementaux des pays développés (par exemple eutrophisation, émissions de gaz à effet de serre,...). Par ailleurs, les ACV n'évaluent que les impacts environnementaux, alors que les pays en développement auraient besoin d'outils d'évaluation intégrant d'autres aspects de la durabilité. Les connaissances locales et traditionnelles pour la gestion de l'environnement sont souvent très utiles et plus adaptées au contexte local que les ACV, mais les ACV ne permettent pas de les exploiter. Au contraire, le caractère "scientifique" et très précis donne une valeur de "vérité" aux résultats de l'ACV, qui pourrait tendre à dévaloriser les connaissances traditionnelles.

3.7.4. Besoins concernant la méthodologie et la pratique

A propos de la méthodologie, il ressort principalement que l'ACV est un outil trop compliqué à mettre en œuvre dans le contexte des pays en développement. Il y aurait donc un important travail de simplification des procédures à réaliser.

Concernant les remarques plus générales, différents points sont à mentionner.

Tout d'abord, une crainte et une réticence à utiliser l'ACV : les pays en développement considèrent que les technologies utilisées dans leurs industries sont plus anciennes et plus polluantes que celles utilisées dans les pays industrialisés. Réaliser une ACV dans ce contexte n'est donc pas en leur faveur, puisqu'elles montreront qu'il vaut mieux produire ailleurs que chez eux! Par conséquent, les acteurs des pays en développement ne sont pas intéressés à de tels outils. Cependant, ils reconnaissent la nécessité de rester compétitifs sur le marché international, et de remplir les conditions nécessaires à la commercialisation de leurs produits, fixées par les pays industrialisés. Par ailleurs, la population des pays en développement n'est pas demandeuse de telles informations car elle est peu concernée par les questions environnementales.

Nous constatons qu'il y a un manque de moyens financiers pour développer l'outil et l'utiliser dans les pays en développement, de même qu'un manque de savoir-faire et d'expertise pour réaliser des ACV ou les faire réviser par des pairs.

3.7.5. Prochaines recherches pour l'ACV dans les pays en développement

Afin de compléter cette analyse et d'avoir une vision plus large de ce qui pourrait limiter actuellement l'utilisation de l'ACV dans les pays en développement, un examen de la littérature un peu plus étendu a été réalisé. Il s'intéresse en particulier aux articles présentant les limites actuelles de l'Analyse du Cycle de Vie (de manière générale et non spécifique aux pays en développement), et les domaines de recherche prometteurs. Cette littérature est bien plus fournie, et mentionne un certain nombre de problèmes qui sont également rencontrés lors de l'utilisation de l'ACV dans les pays en développement. Cependant, je remarque que peu d'entre eux indiquent des difficultés spécifiques aux pays en développement et que cette direction de recherche est peu évoquée parmi les futurs axes de recherche.

Recherches pour la phase de définition des objectifs et du système

Reap et ses collègues ont fait un bon état des lieux des problèmes non résolus en Analyse du Cycle de Vie [Reap *et al.* 2008a, 2008b]. Bien que non spécifiques aux pays en développement, ces deux articles font état de limitations qui posent également problème pour une utilisation dans les pays en développement. Parmi celles-ci, ils déplorent la non prise en compte des impacts sociaux et économiques. Ainsi que le mentionnent également Dreyer *et al.* [2006], une amélioration de la protection de l'environnement peut résulter en un transfert et une augmentation des impacts économiques et sociaux. Dans les

pays en développement, ceci peut avoir des conséquences très importantes, telles que la proposition de solutions défavorables au développement.

D'après Finnveden *et al.* [2009], la vision générale de l'Analyse du Cycle de Vie permet d'éviter de déplacer le problème, par exemple d'une phase du cycle de vie à une autre, d'une région à une autre, ou d'un problème environnemental à un autre. Ce qui n'apparaît pas dans leur étude est que cette focalisation sur les aspects environnementaux ne permet pas de garantir qu'en diminuant un impact environnemental, nous n'augmentions pas un problème social, par exemple. Et cette dernière question est problématique dans les pays en développement.

Recherches pour la phase de l'inventaire

A propos de l'inventaire, Reap *et al.* mentionnent les difficultés liées à la qualité et à la quantité des données. En effet, des spécificités techniques locales ne sont jamais prises en compte dans les bases de données, et le manque de consensus sur les questions d'allocations pose problème [Reap *et al.* 2008a].

Finnveden *et al.* [2009] évoquent l'importance de la qualité des données et de leur unité. Il existe un grand nombre de bases de données qui ont été récoltées selon des méthodologies différentes. Certaines utilisent des procédés unitaires alors que d'autres présentent des procédés agrégés. Certaines sont des données génériques pour un domaine industriel alors que d'autres sont spécifiques à une technologie utilisée et une période de temps. Il y a donc une grande nécessité au sein du champ d'étude de l'ACV d'unifier les méthodes d'inventaire utilisées, afin d'uniformiser la qualité des données. Ces questions touchent également les pays en développement.

Recherche pour la phase d'analyse des impacts

Dans leur rapport sur les besoins actuels et limitations dans la recherche en ACV, Zamagni *et al.* [2008] ne font pas état des limitations liées à une utilisation de l'outil dans les pays en développement. La seule mention qui pourrait s'y rapporter concerne le besoin de développer des catégories d'impact appropriées au contexte de ces pays. Cela illustre bien que le sujet est encore très peu exploré et que peu de recherche a été faite pour adapter les concepts de cycle de vie au contexte des pays en développement.

En ce qui concerne de l'analyse des impacts, Reap *et al.* [2008b] mentionnent notamment deux problèmes qui sont d'importance dans les pays en développement.

En premier lieu, ils notent le manque de standardisation de certaines catégories d'impact (notamment salinisation des sols, érosion ou déplétion de l'eau potable). Il n'y a donc pas de consensus sur les méthodes et indicateurs de ces catégories, ce qui leur donne un manque de crédibilité ou de cohérence.

En second lieu, ils notent le manque de prise en compte des spécificités locales dans les catégories d'impact. En effet, contrairement aux impacts globaux comme la diminution de la couche d'ozone stratosphérique ou les changements climatiques, certains impacts sont locaux ou régionaux et nécessitent une évaluation prenant en compte des spécificités

locales, comme le notent également Finnveden *et al.* [2009]. Ainsi les problèmes d'écotoxicité, d'érosion, de salinisation, de sécheresse par exemple sont par essence locaux ou régionaux.

Recherches plus générale sur l'outil ACV

Sans mentionner spécifiquement les pays en développement, Finnveden *et al.* [2009] mentionnent que l'ACV peut être utilisée de manière *attributionnelle* ou *conséquentielle*. La méthode courante et historique est attributionnelle. Elle consiste à évaluer les impacts environnementaux liés aux flux physiques nécessaires au cycle de vie d'un produit. Les ACV conséquentielles sont plus récentes et s'intéressent plus aux changements des flux physiques de substances qui résulteront d'une décision. Ces deux types d'ACV évoluent en parallèle, et suivent les mêmes étapes. Mais choisir l'une ou l'autre aura une conséquence importante sur la manière de définir les limites du système, les scénarios, l'unité fonctionnelle, les méthodes d'analyse des impacts, etc. Choisir l'une ou l'autre méthodologie est directement dépendant de ce que nous souhaitons montrer. Dans les pays en développement, nous pouvons supposer que l'utilisation d'ACV conséquentielles serait la plus adaptée, car elle permet de prendre en compte la modification du système. Mais comme le mentionnent également Finnveden *et al.* [2009], cette méthodologie est conceptuellement plus complexe et difficile à mettre en œuvre car elle inclut des données et hypothèses additionnelles, liées par exemple aux concepts économiques.

Goedkoop [2009] mentionne également la nécessité dans les pays en développement d'adopter une vision plus régionale et spécifique, mais pas uniquement limitée au pays. Pourtant, bien que ce problème soit identifié depuis les années 1990, le moyen d'intégrer ces spécificités régionales dans les méthodes d'analyse courantes n'a pas encore été trouvé.

Les premières publications sur le sujet commencent à apparaître [Krewitt *et al.* 2001; Bulle *et al.* 2007; Foley and Lant 2009; Bayart *et al.* 2010; Gallego *et al.* 2010]. Potting et Hauschild [2006] parlent de différenciation spatiale, d'autres auteurs parlent de "*site-specific LCA*" (ACV spécifique au lieu) par opposition à "*site-generic LCA*" [Finnveden and Nilsson 2005; Bellekom *et al.* 2006], certains parlent également de *régionalisation* [Humbert *et al.* 2009].

Des projets tels que le projet IMEA⁶ [Blanc *et al.* 2009] vont également dans ce sens. Ce projet, financé par plusieurs organismes européens, avait pour but de faire un bilan des méthodes d'évaluation de l'environnement, en vue d'évaluer les impacts du commerce de produits et services et de proposer des directives pour leur standardisation. Il est entre autres ressorti de cette étude la nécessité d'intégrer dans la modélisation les spécificités environnementales et la diversité des régions et produits. La régionalisation est ainsi vue comme un pas important pour améliorer la fidélité et la précision des résultats de l'ACV, qui permettrait des comparaisons plus pertinentes de différents scénarios. Ces observations valent bien sûr pour l'Europe, mais également pour le reste du monde.

⁶ IMEA signifie IMport Environmental Accounting.

Sur le thème de l'évaluation des impacts sur la quantité d'eau, Boulay *et al.* [2009] décrivent une méthode pour évaluer les impacts en fonction de la disponibilité régionale de l'eau.

De leur côté, Humbert *et al.* [2009] proposent d'évaluer différemment les impacts sur la santé humaine pour les émissions ayant lieu dans des régions fortement peuplées ou peu peuplées, une indication existante dans les bases de données.

3.7.6. Conclusions

Il résulte de cette analyse que l'ACV est un outil performant, qui a un grand potentiel, mais qui nécessite encore de nombreuses recherches et améliorations pour être utilisé de manière adaptée aux pays en développement.

Si l'ACV est encore un domaine de recherche très jeune⁷, l'ACV dans les pays en développement en est encore à ses premiers balbutiements. Il est donc absolument normal que celle-ci soit encore confrontée à des problèmes de mise en œuvre. Nous l'avons constaté, la recherche en ACV dans les pays industrialisés a encore de grands chantiers inexplorés devant elle. Résoudre une partie d'entre eux permettra d'avancer également dans l'adaptation de cet outil au contexte des pays en développement. Au vu des nombreux besoins et limitations identifiés dans ce contexte, une utilisation attentive, prudente et imaginative est nécessaire. Cependant, rien n'exclut son utilisation, et l'acquisition d'expérience dans ce contexte est absolument nécessaire pour que le meilleur puisse être tiré de cette perspective cycle de vie dans les pays en développement.

3.8. Evaluation des impacts sociaux selon la méthodologie de l'ACV

Cette revue de littérature sur les limitations des ACV dans les pays en développement nous a amené à constater qu'un nouveau besoin a émergé pour ceux-ci, tout comme pour les pays industrialisés : celui de quantifier les impacts sociaux selon une méthodologie compatible avec les ACV environnementales. En effet, la perspective systémique des ACV environnementales permet d'éviter un transfert d'impact (géographique mais également de catégorie d'impact). Le besoin se fait de plus en plus pressant d'avoir un outil pour évaluer les impacts sociaux selon une méthodologie similaire, et permettant de garantir qu'en réduisant des impacts environnementaux on n'augmente pas les impacts sociaux par exemple.

C'est ainsi que les Analyses du Cycle de Vie sociales (ACVs)⁸ ont petit à petit émergé. Ce champ d'étude est également très intéressant pour une application dans les pays en développement, mais ne leur est pas réservé. Etant nous-mêmes confrontés à la prise en compte des aspects sociaux pour l'évaluation de Symbioses Agro-Industrielles dans les pays en développement, une revue de littérature a été réalisée et est présentée ici.

⁷ Ce domaine a émergé au début des années 1990 seulement

⁸ aussi parfois nommées ACV sociétales

Nous constatons ces dernières années qu'un intérêt croissant pour l'évaluation des impacts sociaux a émergé parmi les chercheurs et utilisateurs de l'ACV. En effet, il n'est parfois ni simple, ni souhaitable de séparer les aspects environnementaux de leur contexte socio-économique. Un nouvel axe de recherche a donc émergé dans les années 2004-2006, en vue d'intégrer quelques indicateurs sociaux à l'analyse environnementale, qui a été nommé "social (ou societal) life cycle assessment" (ou ACVs pour Analyse du Cycle de Vie sociale).

Ce besoin est en partie né de la prise de conscience qu'une grande proportion des processus industriels a lieu dans des pays émergents, où la dignité humaine est parfois maltraitée. Ainsi, sur la base de critères définis dans les lois internationales notamment, des indicateurs ont été choisis pour quantifier les impacts sociaux, indépendamment du lieu de production.

Le domaine des ACV sociales en est encore à ses balbutiements, comme le disent tous les auteurs, mais c'est un champ d'étude qui prend petit à petit de l'ampleur, qui se structure, définit des priorités et des objectifs, et où les discussions et débats sont actuellement très actifs. Il ne s'agit rien de moins que le germe d'un outil plus complet permettant d'évaluer un produit sur sa "durabilité"! Pourtant, comme nous allons le voir, de nombreux pas restent encore à faire.

3.8.1. Emergence d'un nouveau champ de recherche

Aucun des outils d'évaluation sociale existants ne permet actuellement de suivre une méthodologie similaire à l'ACV sur l'ensemble du cycle de vie. En effet, la majorité des outils existants concernent l'évaluation de la responsabilité sociétale de l'entreprise et sont basés sur les informations de management de l'entreprise, et n'incluent généralement pas les informations de leurs fournisseurs et encore moins celles de leurs clients [Benoît *et al.* 2010]. Convaincue qu'un bilan sur le cycle de vie offre une vision complète et permet d'éviter des transferts d'impacts notamment, la communauté des chercheurs en ACV s'est attelée à la définition d'un cadre d'analyse spécifique pour évaluer les impacts sociaux, selon l'esprit développé dans l'ACV.

La première publication proposant d'intégrer un aspect social dans l'ACV en 1993 suggérait d'inclure une catégorie d'impact "bien-être social" avec *"un accent sur les impacts environnementaux qui découlent directement ou indirectement d'autres impacts sociaux"* ([Fava *et al.* 1993], cité par [Benoît *et al.* 2010]). Les années qui ont suivi, la recherche sur le sujet s'est lentement développée, en commençant par une première publication en 1996 ([O'Brien *et al.* 1996]) donnant un premier cadre pour intégrer ACV environnementales et sociales, puis différents travaux parmi lesquels celui de Casado Cañeque [2002] portant sur des indicateurs de performance sociale des entreprises pour une utilisation dans les ACV, et ceux de Norris [2004] sur les impacts sur la santé des travailleurs, pour n'en nommer que quelques-uns. Comme le montrent Benoît *et al.* [2010], la recherche d'un cadre aux ACV

sociales s'est poursuivie de manière plus active dès 2006, et a été l'objet de nombreuses publications depuis. Elles ont fait progresser la réflexion sur les catégories de dommages, les catégories d'impact, les indicateurs et les catégories d'inventaire. Parallèlement, de nombreuses études de cas ont été publiées.

En 2009, l'UNEP/SETAC Life Cycle Initiative a publié une directive pour l'ACV sociale de produits [Benoît and Mazijn 2009], dont les lignes principales ont été résumées dans un article [Benoît *et al.* 2010]. Cette première directive a pour but de synthétiser les recherches en cours, en vue d'obtenir une plus grande cohérence et aboutir à la définition d'un cadre, d'une structure et d'objectifs communs dans les prochaines années.

3.8.2. Buts et objectifs des ACV sociales

Comme le mentionnent Jorgensen *et al.* [2009], *"plusieurs méthodologies pour les ACV sociales sont en cours de développement pour différents types d'utilisateurs et d'applications. Différents groupes d'utilisateurs peuvent avoir différents besoins. Il est ainsi possible d'imaginer différents types d'usages qui nécessitent potentiellement différentes méthodes"*. Hauschild *et al.* [2008] montrent que *"plus qu'un outil, les entreprises ont besoin d'une boîte à outils avec des outils représentant une variété de pratiques de gestion. Il est essentiel que ceux-ci soient calibrés les uns aux autres pour garantir qu'ils indiquent la même direction pour une durabilité sociale"*.

Parmi la communauté des chercheurs, une minorité des auteurs pensent que les ACV sociales ont comme but de permettre le choix entre plusieurs scénarios ([Jorgensen *et al.* 2008]), alors que la majorité estime qu'elles ont plutôt un but informatif [Benoît *et al.* 2010]:

- Jorgensen *et al.* [2008] mentionnent que, comme les ACV environnementales, les ACV sociales ont deux types de buts. Le premier est la comparaison de produits, procédés ou compagnies. Le second est l'identification de potentiels d'amélioration de produits ou de procédés [Kruse *et al.* 2009], tout ceci sous l'angle du social.
- D'autres auteurs, au contraire, mentionnent que les ACV sociales n'ont pas comme fonction de permettre le choix ou la décision entre deux scénarios ni de déterminer si un bien doit être produit ou non [Benoît *et al.* 2010]. Elles ont un but de documenter sur un produit dans le but d'accroître les connaissances, informer sur les choix déjà réalisés et faire la promotion de l'amélioration des conditions sociales dans le cycle de vie des produits [Klöpffer 2003, 2008]. Hunkeler [2006] va également dans ce sens et mentionne que *le but des ACV sociétales n'est pas de permettre de prendre des décisions, mais de pointer les transferts d'impacts [par exemple de l'environnement au social] pour les décideurs politiques*. Le but est donc d'identifier les opportunités d'améliorations économiques et sociales des processus industriels [Kruse *et al.* 2009]. Swarr [2009] mentionne que *"le projet sur la consommation durable du WBCSD [2008] va également dans ce sens et propose trois classes de décisions où les ACV sociales peuvent mener à un système de produits plus durables :*

- *l'innovation : dans le but de stimuler les entreprises à innover pour avoir des produits et services plus durables*
- *l'influence sur les choix : dans le but d'influencer les consommateurs par une information sur la durabilité du produit*
- *la modification des choix : dans le but de supprimer du marché les produits non durables".*

Jorgensen *et al.* [2010] mentionnent que l'amélioration des conditions sociales des parties prenantes affectées par le cycle de vie du produit évalué est l'un des objectifs plus généraux pour développer et utiliser les ACV sociales.

Ce manque d'accord sur la finalité des ACV sociales illustre bien la diversité des besoins et la nouveauté du champ de recherche. Cela illustre également le manque de clarté que nous pouvons intuitivement ressentir sous ce terme générique "ACV sociale".

3.8.3. Cadre et étapes de réalisation

Un grand soin a été porté à faire en sorte que les ACV sociales soient aussi compatibles que possible au cadre des ACV environnementales [Parent *et al.* 2010]. C'est pourquoi, elles sont basées sur les quatre mêmes étapes itératives, définies dans la norme ISO 14040 :

- La définition des objectifs et du système
- L'analyse de l'inventaire du cycle de vie
- L'analyse des impacts du cycle de vie
- L'interprétation.

Je reprends donc cette structure pour aborder et présenter les ACV sociales ci-dessous.

3.8.4. Définitions des objectifs et du système

L'ACV se base sur la notion d'*unité fonctionnelle*. Cette notion est également à la base de l'ACV sociale, avec pour objectif de rapporter les impacts proportionnellement à cette valeur. Cependant, certains indicateurs sociaux importants sont plus liés à une politique d'entreprise ou à une région qu'à un produit spécifique ou un projet [Dreyer *et al.* 2006; Benoît *et al.* 2010]. Ainsi, afin de ne pas perdre ces informations importantes et garder une vision de l'ensemble des impacts, tout ne peut pas toujours être rapporté à l'unité fonctionnelle.

Comme pour une partie des impacts environnementaux, les impacts sociaux sont spécifiques aux endroits du cycle de vie où ils ont lieu. Pour résoudre ce problème, les méthodes d'analyse des ACV environnementales utilisent les sous-catégories d'inventaire pour les émissions dans l'air, l'eau et le sol spécifiant des caractéristiques physiques comme le type de géographie ou la densité de population [Benoît *et al.* 2010]. Les ACV sociales nécessitent un traitement des données spécifiques aux lieux concernés, intégrant parfois des informations légales ou politiques. Ceci a pour conséquence importante qu'une agrégation

des résultats du cycle de vie n'est pas recommandée pour certains indicateurs [Hunkeler 2006].

Les objectifs profonds de réalisation d'une ACV sociale doivent être clairement définis car les questions posées auront une influence sur la méthode, comme en ACV environnementale. Comme le montrent Parent *et al.* [2010], et comme nous le verrons plus précisément lorsque je présenterai les différentes méthodes d'analyse des impacts, il y a principalement deux types d'approches : celles qui ont pour but d'évaluer les *performances sociales* (type I) et celles qui ont pour but d'évaluer les *impacts sociaux* (type II) :

- Méthodes d'évaluation des performances sociales : Les méthodes de type I se situent dans un contexte international, et ont pour but de comparer les performances sociales, positives comme négatives, sur le cycle de vie d'un produit avec des standards sociaux internationaux. Le but est de cibler rapidement les étapes du cycle de vie où le potentiel d'amélioration des performances sociales est le plus grand.
- Méthodes d'évaluation des impacts sociaux : Les méthodes de type II n'attendent *a priori* comme résultat que des impacts négatifs, à l'instar de la notion d'impacts environnementaux. Le but de telles méthodes est d'évaluer les impacts sociaux directement au procédé unitaire [Hunkeler 2006], ou d'estimer comment les procédés unitaires peuvent amener à de potentiels impacts sur la santé humaine par des voies socio-économiques [Weidema 2006].

Cependant, nous nous rendons compte, comme l'illustrent Dreyer *et al.* [2006], Jorgensen *et al.* [2008] et Parent *et al.* [2010] que les impacts sociaux, comme les performances sociales, sont principalement induits par le comportement de l'entreprise, bien plus que par la nature technique des procédés eux-mêmes.

Pour les deux types de méthodes, il s'agit d'optimiser le temps et le travail nécessaire à réaliser une telle étude par rapport à la valeur ajoutée et au potentiel d'amélioration qu'apportent ces résultats.

La perception d'impacts sociaux est très variable. Hunkeler [2006] fait la différence entre les impacts sociaux et les impacts sociétaux. Les impacts sociaux provoqués à proximité directe des procédés inclus dans le système de production ne montreront pas obligatoirement des résultats similaires à ceux d'une étude portant plutôt sur les conséquences sociétales. L'adjectif sociétal fait référence à un comportement d'entreprise, une stratégie mise en place par celle-ci, dans l'esprit d'une RSE. L'adjectif social a lui une signification plus large et inclut les impacts sur la société civile elle-même, et non uniquement les personnes en lien avec l'entreprise.

3.8.5. Impacts, indicateurs, catégories d'inventaire

Il n'existe actuellement pas d'indicateurs, ni de catégorie d'inventaire communément admise en ACV sociale. Cependant plusieurs auteurs ont cherché à développer leurs propres référentiels, qui peuvent être une base pour l'analyse. Certaines méthodologies utilisent des

catégories d'impact intermédiaires alors que d'autres proposent des catégories de dommages. Jorgensen *et al.* [2008] illustrent les choses ainsi : "*par exemple, la création d'emploi [catégorie d'impact intermédiaires] n'est normalement pas considérée comme un but en soi, bien qu'il contribue aux revenus familiaux, et en conséquence à réduction de la pauvreté. Il peut améliorer les conditions de bonne santé familiale, qui peut être considérée comme un but final [catégorie de dommage]*".

En ACV environnementale, les catégories d'impact se rapportent à des domaines de protection (Areas of Protection). Il s'agit de domaines que l'on souhaite protéger et qui sont influencés par différents types d'impacts. Quatre domaines à protéger ont été définis par l'UNEP/SETAC Life Cycle Initiative [Udo de Haes *et al.* 2004] : la santé humaine, l'environnement naturel, les ressources naturelles et l'environnement construit par l'homme. Il est clair que ces domaines ne sont pas suffisants pour évaluer les impacts sociaux, et il semble communément accepté qu'à ces quatre domaines de protection, un cinquième devrait être défini couvrant le bien-être et la dignité humaine [Dreyer *et al.* 2006; Weidema 2006].

Les directives sur l'ACV des impacts sociaux de produits [Benoît *et al.* 2010] définissent un cadre méthodologique pour choisir des sous-catégories d'impact. Dans cette méthodologie de type I (performance sociale), les catégories d'impact sont évaluées sur la base d'agrégation des résultats d'inventaire, comme le montre la figure 3.2. Selon Parent *et al.* [2010], cette méthodologie de type I n'utilise pas les chaînes de causes à effets, principalement car "*les relations de cause à effet ne sont pas suffisamment simples ou pas connues avec suffisamment de précision pour permettre un modélisation quantitative de cause à effet*" [Benoît *et al.* 2010]. Ces auteurs proposent d'utiliser les "points de référence de performance", en faisant référence à des niveaux de performance sociale minimaux acceptés internationalement, comme des conventions internationales ou des guides de bonnes pratiques de responsabilité sociale d'entreprise.

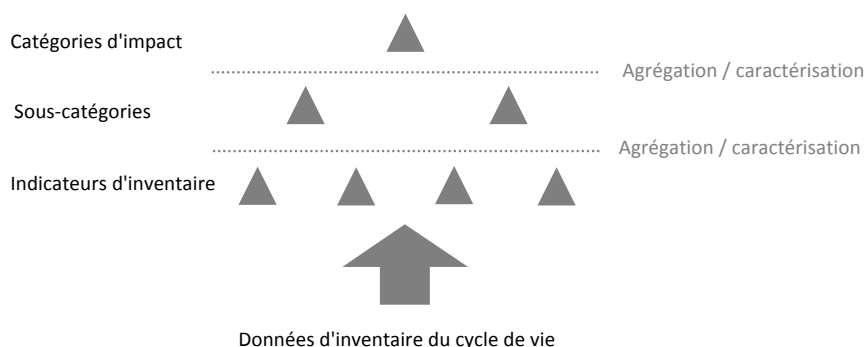


Figure 3. 2 : Schéma représentant les sous-catégories et les étapes d'agrégation dans la méthode présentée par [Benoît *et al.* 2010]

Cette méthode propose une base de catégories spécifiques aux acteurs qui peuvent être concernés à chaque étape du cycle de vie. Elle recommande également de prendre

suffisamment d'indicateurs afin de couvrir un large spectre d'impacts et éviter un biais important qui consisterait, par exemple, à ne prendre que les indicateurs pour lesquels les données sont facilement accessibles, manquant ainsi les catégories d'impact les plus importantes.

Les catégories d'acteurs pour lesquels des catégories d'impact sont précisées sont les travailleurs/employés, les consommateurs, les communautés locales, la société civile et les acteurs de la chaîne de valeur (à l'exclusion des consommateurs).

Les sous-catégories d'impacts sociaux couvrent des thèmes comme les droits humains, les conditions de travail, l'héritage culturel, la pauvreté, la maladie, les conflits politiques, les droits des populations indigènes, etc. Voici deux exemples de sous-catégories proposées :

- pour les employés : Liberté d'association, travail des enfants, salaire équitable, temps de travail, travail forcé (esclavage), équité d'opportunité/discrimination, santé et sécurité, bénéfices sociaux/sécurité sociale,...
- pour les communautés locales: Accès aux ressources matérielles, accès aux ressources immatérielles, délocalisation et migration, héritage culturel, conditions de vie saines et sûres, respect des droits des populations indigènes, engagement de la communauté, emploi local, sécurité des conditions de vie...

Concernant l'agrégation des résultats d'impacts, Benoît *et al.* [2010] mentionnent que le cadre pour les étapes d'agrégation des inventaires en catégories d'impact intermédiaires et finales doit encore être formalisé. L'agrégation pourrait prendre la forme d'un résumé des informations qualitatives et d'une addition des informations quantitatives.

Les méthodologies de type II utilisent des modèles de caractérisation des impacts qui se basent sur des chaînes de causes à effet et qui sont par conséquent principalement quantitatives.

La méthode proposée par Hunkeler [2006] possède une seule et unique catégorie d'impact de type intermédiaire. Il évalue les heures de travail nécessaires pour un produit, que l'on peut spécifier par élément de l'inventaire, étape et région géographique. Cela représente, par extension, le nombre d'emplois créés dans une région. Il estime que l'accès à un emploi est directement relié avec la capacité de se soigner, l'accès à l'éducation, l'accès au logement et l'accès aux biens de première nécessité, couvrant ainsi les besoins élémentaires.

La méthode proposée par Weidema [2006] propose de mesurer les impacts sociaux en terme de réduction du bien-être, quantifié en QALY (Quality Adjusted Life Years).

Kruse *et al.* [2009] proposent à l'instar de Dreyer [2006] d'utiliser une méthode combinée top-down (type I) et bottom-up (type II) pour déterminer des indicateurs. L'approche top-down s'appuie sur des indicateurs largement reconnus, comme les conventions, etc. L'approche bottom-up développée par Kruse *et al.* [2009] identifie des indicateurs basés sur les intérêts de l'industrie ou des parties prenantes et/ou des données disponibles. Ceci permet d'évaluer les impacts spécifiques des industries concernées.

Dans leur revue des méthodes existantes, Jorgensen *et al.* [2008] montrent que les indicateurs les plus représentés sont ceux qui concernent la discrimination et les conditions physiques de travail. Ils sont suivis par les autres droits humains, les indicateurs concernant la société civile, et les conditions de travail décentes. Les indicateurs sont en général définis au niveau de l'organisation et non pas au niveau de l'individu.

3.8.6. Bases de données

La pertinence d'utiliser des données génériques issues de bases de données est controversée, certains prônant qu'il ne faut au contraire utiliser que des données spécifiques. Tout dépend en fait de la portée de l'étude et des objectifs que nous souhaitons atteindre. En effet, la réalisation d'une ACV (sociale ou environnementale) requiert une immense quantité de données, et il paraît difficile (et disproportionné pour certains) d'obtenir des données sociales spécifiques pour chaque étape du cycle vie.

Trois types de données peuvent être utilisées en ACV sociale [Benoît and Mazijn 2009; Parent *et al.* 2010]:

- Les variables liées à l'activité, qui servent à établir une pondération entre les différents procédés unitaires lorsqu'on traite de données qualitatives qui ne peuvent pas être référées à l'unité fonctionnelle.
- Les données liées aux conditions sociales, qui seront ensuite traduites en impacts.
- Les données nécessaires pour comparer la situation locale à une référence internationale (performance).

Les auteurs de méthodes de type I (performance sociale), comme Benoît *et al.* [2010] mais également d'autres auteurs comme Weidema [2006] estiment que l'on peut se baser dans un premier temps sur des données génériques d'indicateurs sociaux communément et internationalement admis, définis en référence à des instruments internationaux comme la convention internationale des droits de l'homme ou celle des droits des travailleurs, par exemple. Ces indicateurs font donc partie des indicateurs existants au sein des entreprises internationales et peuvent généralement être obtenus dans les rapports annuels. Ce sont des statistiques comme "temps de travail nécessaire par unité fonctionnelle", "valeur ajoutée pour un procédé", "nombre/fréquence d'accidents de travail par année" ou "Accès à une formation continue". Dans ce contexte, la création et l'utilisation de bases de données génériques est possible. Weidema [2006] et d'autres auteurs reconnaissent que l'utilisation de données spécifiques amène à des résultats bien plus précis, mais estiment tout de même que les données génériques de bases de données statistiques peuvent amener à de bonnes premières estimations de plusieurs catégories d'impact social. Une approche basée sur des données génériques peut être appropriée notamment lorsqu'on cherche à évaluer un type de produit plutôt qu'un modèle spécifique [Benoît *et al.* 2010]. Elle permet de cibler et prioriser la recherche de données spécifiques plus détaillées. Cependant, de telles bases de données sont encore dans les premiers stades de développement.

Au contraire, d'autres auteurs comme Dreyer *et al.* [2006] et Jorgensen *et al.* [2008] montrent que deux entreprises produisant exactement le même produit peuvent avoir des impacts sociaux complètement différents. Ainsi, les impacts sociaux sont directement liés au comportement des entreprises. Ils estiment que l'utilisation de données génériques n'est donc pas appropriée, ou au mieux très difficile à appliquer. Ils admettent cependant qu'obtenir des données spécifiques pour toutes les étapes du cycle de vie serait un travail trop important.

Comme le reconnaissent Jorgensen *et al.* [2008], l'avantage pratique à utiliser des données génériques est indiscutable. En effet, l'analyse peut ainsi être réalisée depuis le bureau, donnant une approche d'analyse bien plus rapide et moins chère. Par ailleurs, Kruse *et al.* [2009] mentionnent que certaines données spécifiques peuvent être très difficiles à obtenir (comme par exemple le travail forcé), la réalité pouvant être niée par les industriels en question. Dans ce cas, l'utilisation de données génériques basées sur des statistiques régionales ou nationales peut être une bonne alternative.

3.8.7. Recherche actuelle en ACV sociale

Les besoins de recherche en ACV sociale et les thèmes actuellement en cours de développement sont très nombreux. Comme le mentionnent Benoît *et al.* [2010], une fois le cadre établi, une méthodologie de recueil des données, l'amélioration des catégories et sous-catégories d'inventaire et d'impact, et la création de bases de données sont parmi les prochaines étapes à réaliser.

La perspective des ACV sociales conséquentielles (consequential SLCA) est un domaine particulièrement intéressant. Une récente étude de Jorgensen [2010] explique qu'il s'agit d'évaluer les conséquences sociales d'un choix technologique implémenté ou non.

3.8.8. Utilisation des ACV sociales pour l'évaluation de Symbioses Industrielles

J'ai présenté cette revue de littérature sur les ACV sociales afin d'identifier si celles-ci pourraient être une méthodologie d'évaluation pertinente pour l'évaluation des impacts sociaux d'une Symbiose Industrielle ou si elles pourraient être une source d'inspiration pour le développement d'une nouvelle méthodologie adaptée à ce type de projet et ce contexte.

Revenons sur les principaux points de cette méthodologie. Comme nous l'avons vu, les ACV sociales sont un domaine relativement nouveau, et la méthodologie est encore partiellement flexible. Elles ont été définies pour répondre à plusieurs types d'objectifs. Certaines ont un but essentiellement informatif (communiquer sur les impacts sociaux du cycle de vie d'un produit). D'autres, au contraire, servent à permettre le choix entre plusieurs scénarios. D'autres encore ont pour but d'identifier les opportunités d'améliorations économiques et sociales des processus industriels.

L'évaluation des impacts sociaux d'une Symbiose Industrielle a pour objectif de servir à l'amélioration du projet mis en place. Un impact social n'est dans ce cas-là pas envisageable. Une telle évaluation ne peut donc pas être uniquement informative, elle doit être opérationnelle.

Pour être le plus compatibles possible avec les ACV environnementales, les ACV sociales suivent un processus itératif en quatre étapes : Définition des objectifs et du système, Réalisation de l'inventaire, Analyse des impacts, et Interprétation des résultats.

Un tel processus itératif correspond également au besoin d'évaluation d'une Symbiose Industrielle. Il peut être utilisé pour améliorer la méthodologie d'évaluation, mais sera surtout utile pour améliorer le projet lui-même. Les quatre étapes définies dans la norme ISO 14040 sont également cohérentes pour une analyse sociale. Cependant, en l'absence d'une méthodologie de réalisation d'inventaire et d'analyse des impacts existante, une étape supplémentaire est nécessaire pour les définir.

Pour répondre à ces besoins, nous avons vu qu'il y a deux types d'approches : celles qui cherchent à évaluer les performances sociales et celles qui ont pour but d'évaluer les impacts sociaux. Au niveau des catégories d'inventaires et des indicateurs, la directive récemment publiée [Benoît *et al.* 2010] définit un cadre. Elle propose une base de catégories d'impact spécifiques aux acteurs qui peuvent être concernés à chaque étape du cycle de vie. Pour chaque catégorie d'acteurs, des sous-catégories d'impact sont proposées. Celles-ci correspondent à des indicateurs à l'échelle de l'entreprise, des régulations internationales et des indicateurs de développement. Les thèmes qui sont bien couverts concernent par exemple l'emploi, le travail sous contrainte ou le droit d'association.

Pour l'évaluation des Symbioses Industrielles, la perspective de prendre en compte des impacts sur les différents acteurs semble intéressante et totalement appropriée à la logique participative de mise en place du projet. Cependant, ces indicateurs doivent correspondre à des impacts sociaux propres au projet et non pas à l'entreprise. Les ACV sociales ont pour but de donner une vision d'ensemble des impacts sociaux du cycle de vie d'un produit, étant sous-entendu que ce produit passe par plusieurs étapes de production qui sont dans des usines différentes et dans des régions du monde différentes. Cela permet d'attribuer une part de l'impact social d'une entreprise à un produit. Le processus mis en place dans une Symbiose Industrielle est un peu différent. En effet, tout le projet a lieu au même endroit, et les impacts sociaux qui nous intéressent sont reliés au projet mis en place, pas à l'entreprise et sa gestion en général. Les indicateurs existants sont des indicateurs macro-économiques, ou liés aux droits de l'homme par exemple et ne correspondent pas à la vision spécifique dont nous avons besoin pour les Symbioses. Il n'est donc pas possible d'utiliser les indicateurs et catégories d'impact tels quels, mais il est par contre possible de s'en inspirer pour établir et évaluer les éléments importants.

Notons par ailleurs que la méthodologie des ACV sociales propose une évaluation chiffrée, mais pas un jugement de valeur. Elle ne donne pas de niveau de référence qui permettrait

une comparaison. Si le but de l'évaluation sociale d'un projet de Symbiose Industrielle est l'amélioration de ce projet, il est nécessaire de pouvoir établir un jugement de valeur.

De plus, nous remarquons que bien que la méthodologie des ACV sociales soit définie au plus proche de celle des ACV environnementales, les deux évaluations doivent être menées de manière séparée et donnent des résultats de formes différentes, difficilement comparables, couvrant des réalités partiellement différentes.

Le processus d'évaluation d'une Symbiose Industrielle est un tout. Obtenir des résultats de formes différentes n'est en ce sens pas cohérent avec ce processus.

En conclusion, nous observons que les ACV sociales possèdent de nombreux éléments dont nous pouvons nous inspirer pour l'évaluation sociale des Symbioses Industrielles. Cependant, les objectifs généraux auxquels elles tentent de répondre sont différents de ceux de l'évaluation d'une Symbiose. Ainsi, la méthodologie des ACV sociales ne peut être utilisée en tant que telle pour l'évaluation d'une Symbiose Industrielle.

3.9. Outils d'évaluation du développement durable

Les paragraphes précédents nous ont amenés à préciser les besoins pour un outil d'évaluation des impacts environnementaux et sociaux d'une Symbiose Industrielle. J'ai en particulier montré la nécessité d'avoir un outil qui soit un tout et donne des résultats selon une forme identique, correspondants à la même réalité ou unité fonctionnelle. L'outil doit être un processus itératif qui a autant pour but de donner une évaluation de la Symbiose mise en place, que d'améliorer cette Symbiose.

Par ailleurs, nous n'avons pas encore parlé du troisième pilier de la durabilité : le progrès économique. En effet, nous avons supposé que l'avantage économique du projet de Symbiose était une condition *sine qua non* à sa réalisation. Cependant, le respect de ce critère nécessite également d'être évalué pour que les différentes parties puissent adhérer au projet.

C'est pourquoi nous allons maintenant nous tourner vers les outils d'évaluation de la durabilité de projet, et étudier l'intérêt qu'ils pourraient représenter pour les projets de Symbioses. La définition de critères d'évaluation socio-économiques en vue d'estimer la durabilité d'un projet a déjà été réalisée dans de nombreuses études, et il existe de nombreux outils à cet effet. Il est donc possible de s'inspirer d'autres expériences pour établir un système performant. Une revue des principaux types de méthodes existantes et dont les objectifs pourraient se montrer proches de ceux de notre étude est présentée ci-dessous.

Je vais d'abord présenter le cadre qui sous-tend à toute évaluation du développement durable, les principes de Bellagio. Nous nous tournerons ensuite vers les méthodologies d'évaluation de projet d'aide au développement. Bien que ce type d'évaluation ne soit pas directement relié au développement durable, elles cherchent cependant à toucher tous les

aspects importants d'un projet. Dès le moment où une Symbiose Industrielle se passe dans un pays en développement, ses résultats peuvent être comparés à ceux d'un projet d'aide au développement. Cependant, nous verrons que les objectifs d'évaluation sont relativement différents entre ces types de projets, et ne correspondent pas aux besoins d'une Symbiose Industrielle.

Les biocarburants étant une matière particulièrement intéressante pour la mise en place de Symbioses Agro-Industrielles dans les pays en développement, je vais présenter les principes de la Table Ronde sur la durabilité des biocarburants. Cette initiative internationale regroupe des acteurs et experts du monde entier, représentant toutes les étapes de production des biocarburants, en vue de définir un cadre de durabilité pour la création et l'évaluation de projets de biocarburants.

Je présenterai ensuite la méthode Hermione, qui donne un cadre pratique à l'évaluation de projet sous l'angle de la durabilité.

Je terminerai en présentant la Global Reporting Initiative, qui est la référence internationale en matière de communication au sujet de la durabilité.

Il existe bien entendu d'autres outils pour l'évaluation de la durabilité, mais ceux qui ont été sélectionnés dans ce chapitre permettent d'avoir une bonne vision d'ensemble des principaux. Ils nous permettront d'esquisser les premiers traits de la méthodologie qui sera proposée au chapitre 6.

3.9.1. Cadre : Les principes de Bellagio

Les principes de Bellagio [Hardi and Zdan 1997] posent un cadre reconnu de lignes directrices pour la définition d'un système d'indicateurs pour le développement durable. Ces dix principes [IISD.org 2010] sont porteurs d'éléments importants. Ils concernent aussi bien la définition d'objectifs clairs, le contenu de l'évaluation qui doit cerner les problèmes prioritaires, le mode de définition des indicateurs qui doit intégrer l'ensemble des acteurs, que la mise en place de capacités d'évaluation permanentes. L'annexe 6 donne la liste de ces principes.

Dans cet esprit, nous pouvons relever deux conditions importantes que nous estimons devoir être remplies pour le choix de ces indicateurs socio-économiques.

En premier lieu, il faut choisir un petit nombre d'indicateurs qui permette d'avoir une bonne vision de la réalité des impacts locaux, sachant que de très bons indicateurs existent déjà pour évaluer les impacts globaux. Cela correspond aux principes de Bellagio 2 à 5.

Il convient en second lieu d'utiliser les connaissances existantes sur le sujet comme base et de s'en inspirer afin de ne pas refaire tout un travail de choix, sélection et définition d'indicateurs alors que cela a déjà été réalisé maintes fois. Dans le cas où les outils existants ne sont pas totalement adéquats pour évaluer la durabilité du projet qui nous concerne, il peut cependant être très judicieux de s'inspirer de la structure et de l'historique de développement de ces outils. Cela permet de s'ancrer dans un processus agréé et de respecter le principe de Bellagio n°7, dont un des buts est d'encourager la simplicité des

structures et le recours à un langage clair et simple, ainsi que le principe de Bellagio n°8, dont le but est d'encourager une vaste participation pour assurer la reconnaissance de valeurs différentes.

3.9.2. Les méthodologies d'évaluation de projets de développement

Il existe une quantité importante d'outils et de méthodologies d'évaluation des projets d'aide au développement, mis en place par les organisations internationales et les ONG actives dans l'aide au développement. Ces outils sont adaptés pour quantifier l'avancement d'un projet et déterminer en quelle proportion les objectifs sont atteints. Dans ces grandes structures, une évaluation régulière est nécessaire pour garantir l'avancement des projets et montrer aux créanciers le bon usage de leur argent. Ainsi, bien que ces instruments d'analyse soient parfois critiqués car le développement ne peut pas toujours être évalué en termes quantifiés ayant une évolution annuelle, de bons résultats de ces évaluations sont en général conditionnels au renouvellement des financements.

Les projets de Symbiose Industrielle ne constituent pas des projets de développement. En effet, ils diffèrent d'un projet de développement dans le sens où l'objectif du projet n'est pas de développer "gratuitement"⁹ une région, mais d'établir une relation contractuelle avec la population locale et par exemple de remplacer une partie du combustible fossile par un biocarburant produit localement. Le développement régional qui en découle potentiellement est un effet souhaité, mais pas un objectif à atteindre! L'entreprise concernée ne souhaite donc pas évaluer le développement, mais s'assurer que ses objectifs sont atteints et évaluer les impacts environnementaux dans leur contexte socio-économique, c'est-à-dire en évitant que la diminution des impacts environnementaux ait pour conséquence d'augmenter les problèmes sociaux et économiques régionaux. Pour effectuer cette vérification, l'utilisation des grilles d'évaluation standard des projets de développement serait très laborieuse et ne fournirait pas les informations souhaitées.

Les outils d'évaluation et de suivi de projets de développement sont en général destinés à une évaluation d'impacts réels (après coup) et non pas d'impacts attendus (soit avant la mise en place du projet). Ils ne sont donc pas adaptés à l'amélioration en continu d'un projet de Symbiose dès les premières étapes.

3.9.3. Les principes de la Roundtable on sustainable biofuels (RSB)

La Table Ronde sur les Biocarburants Durables (Roundtable on sustainable biofuels – RSB), coordonnée à l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) et dirigée par un comité directeur international et intersectoriel, établit un cadre et des standards pour assurer que les biocarburants et toute leur chaîne de production soient durables. Douze principes ont été établis en 2009 [RSB 2009c]. Ces principes sont précisés sous la forme de critères, et

⁹ C'est à dire sans rien en attendre en retour.

des indicateurs sont proposés pour évaluer leur respect [RSB 2009d, 2009a]. La prochaine étape est l'instauration d'un système de certification RSB [RSB 2009b].

Les principes et critères établis par la RSB ont l'immense avantage de réunir les préoccupations de toutes les parties prenantes de la chaîne de production. Ils forment donc une sorte de consensus sur les conditions minimales à respecter pour qu'un biocarburant puisse être considéré comme durable. Ils couvrent des thèmes aussi divers que la légalité, les droits de l'homme, la sécurité alimentaire, les gaz à effet de serre ou la conservation de l'environnement. L'annexe 7 donne le titre des douze principes RSB.

Cependant, les standards RSB ne sont pas spécifiquement construits sous la forme de ceux d'un outil d'analyse, mais plus sous la forme d'un outil de contrôle ou de normalisation. Ils définissent un cadre large et minimal de principes à utiliser, et ne constituent pas une méthodologie d'analyse précise. Ils peuvent ainsi servir de base pour déterminer une procédure plus précise.

Plusieurs principes sont particulièrement intéressants dans le cas de l'évaluation d'une Symbiose Industrielle basée sur l'échange d'un biocarburant. Ils traitent des sujets environnementaux qui peuvent faire partie soit des objectifs du projet, soit des éléments identifiés comme manquant dans l'analyse des impacts:

Le principe 3 traite de la réduction des gaz à effet de serre (GES) : "Les biocarburants doivent contribuer à limiter le changement climatique en réduisant de manière significative les émissions des GES sur l'ensemble de leur cycle de vie en comparaison des carburants fossiles" [RSB 2009c, p.12].

Le principe 7 traite la conservation : "Les opérations liées à la production de biocarburants doivent éviter les impacts négatifs sur la biodiversité, les écosystèmes et les autres valeurs de conservation" [RSB 2009c, p. 21]. Le principe 8 vise à protéger les sols de la dégradation par des pratiques durables et le principe 9 demande de protéger la qualité et la quantité des ressources en eau de surface et souterraine.

Deux principes abordent précisément des thèmes socio-économiques qui pourront être importants à évaluer : la sécurité alimentaire et l'accès à la formation.

Le principe 5 traite du besoin de développement rural et social : "Dans les régions pauvres, la production de biocarburants doit contribuer au développement économique et social des populations locales rurales et autochtones" [RSB 2009c, p. 17]. Les critères liés à ce principe établissent que le statut socio-économique des populations locales doit être amélioré notamment par la création d'emplois, et si nécessaire l'accès à des formations.

De plus, une des exigences minimales de ce principe est d'optimiser significativement les bénéfices pour les populations locales après 5 ans pour au moins une des mesures suivantes : création d'emplois à long terme, établissement de structures de gouvernance pour la capacitation des communautés rurales (coopératives ou microcrédit p.ex.), utilisation de la bioénergie produite localement afin de fournir un accès moderne à l'énergie pour les

communautés locales, achat d'actions ou partenariats avec les populations locales, bénéfiques locaux tels que la construction ou l'entretien de cliniques ou écoles.

Le principe 6 traite la sécurité alimentaire et le conflit entre cultures vivrières et cultures énergétiques : "Les opérations liées à la production de biocarburants doivent garantir le droit à une alimentation adaptée et améliorer la sécurité alimentaire dans les régions d'insécurité alimentaire" [RSB 2009c, p. 19]. Le critère 6a précise qu'une évaluation des risques liés à la sécurité alimentaire régionale et locale doit être faite et que tout impact négatif résultant de la production des biocarburants doit être atténué. Le critère 6b spécifie que dans les régions d'insécurité alimentaire, les opérations liées à la production de biocarburants doivent améliorer la sécurité alimentaire locale des populations directement affectées, par exemple en laissant des terres à part pour les cultures vivrières, en accroissant les rendements, en fournissant aux travailleurs des opportunités de produire de la nourriture à l'échelle de leur ménage, en sponsorisant les programmes et activités de soutien agricole ou en rendant disponibles pour le marché local des sous-produits agricoles ayant une valeur ajoutée.

La FAO définit les quatre piliers de la sécurité alimentaire: accessibilité, disponibilité, utilisation et stabilité. Le document [RSB 2009d] définit que les impacts sur l'accessibilité concernent les changements de prix des denrées locales résultant de la production de biocarburants. La disponibilité alimentaire peut diminuer si les stocks locaux et la production de nourriture ou de fourrage sont diminués par les processus de production de biocarburants. L'utilisation concerne la capacité des populations locales à utiliser la nourriture disponible, notamment en termes de disponibilité de combustibles pour la cuisine. La stabilité est affectée sur le long terme par la modification des événements climatiques périodiques qui pourrait résulter des processus de production de biocarburants. Ces éléments sont une bonne base pour établir un référentiel liant la sécurité alimentaire à l'accès à la formation notamment.

Les principes et critères établis par la RSB sont particulièrement intéressants à consulter lors de la création d'un projet de Symbiose Industrielle basée sur un biocarburant. Ils permettent de s'assurer une prise en compte d'une bonne partie des aspects importants dès la création du projet. Cependant, ils sont peu opérationnels pour une évaluation à proprement parler. En effet, ils ne proposent pas de canevas pour évaluer ces critères. Et les indicateurs proposés sont indicatifs.

3.9.4. Evaluation de la durabilité par l'évaluation multicritères qualitative : méthode Hermione

Les méthodes d'analyse multicritères ont prouvé leur intérêt dans de nombreux domaines. L'évaluation de la durabilité utilise également ce type de méthodes. Le principe général est de définir une liste de critères à évaluer, une échelle de valeur et une méthode d'agrégation des résultats.

Il existe globalement deux types de méthodes d'évaluation multicritères couramment utilisées :

- Les méthodes de type ELECTRE et PROMETHEE
- Les méthodes de type moyenne pondérée.

Ces deux types de méthodes proposent des stratégies de pondération et d'agrégation dans le but d'obtenir un résultat unique ou un petit nombre de résultats facilement compréhensible et utilisables pour prendre des décisions. Cependant, la pondération des critères est un sujet particulièrement délicat car il est lié à des choix et valeurs par essence non scientifiques : objectifs politiques, préférences éthiques, etc. Cette pondération est pourtant nécessaire pour mettre des priorités d'actions et faire des choix. Mais elle est souvent perçue comme un processus non transparent et souffre d'un manque de contrôle de la part des décideurs.

Un nouveau type de méthode d'analyse a récemment été développé par Flourentzou *et al.* [2003], dont l'objectif est justement de ne pas faire d'agrégation des résultats, mais au contraire de présenter les résultats selon une échelle identique qui permette de juger rapidement quels critères ne sont pas atteints. Cette méthode, nommée Hermione et développée à l'EPFL donne un cadre stratégique pour l'évaluation de critères qualitatifs [Flourentzou *et al.* 2003; Flourentzou 2011]. Elle a été utilisée comme cadre pour l'établissement de plusieurs outils d'aide à la décision, dont Albatros¹⁰, Boussole 21¹¹, Smeo¹² et EstiaVia¹³ par exemple. Le principe de cette méthode est le suivant [Flourentzou 2011] :

Les objectifs à évaluer sont groupés en famille de macro-critères divisés en plusieurs critères et sous-critères. Leur structure hiérarchique couvre deux à trois niveaux. Dans le cadre de l'évaluation de la durabilité, ces macro-critères seront par exemple l'environnement, la société et l'économie. La définition des critères et sous-critères doit respecter trois règles :

- *l'exhaustivité : tous les intérêts doivent être représentés. Aucun aspect important ne devrait être ignoré sous prétexte qu'il est difficile à évaluer.*
- *la non-redondance : aucun des aspects ne doit être évalué deux fois, exprimés d'une manière différente.*
- *l'importance de l'équilibre : cette méthode recommande de ne pas pondérer les critères qualitatifs, afin qu'un critère défavorable par exemple ne disparaisse pas à l'étape macro-critère si tous les autres critères sont favorables.*

¹⁰ Méthode d'évaluation des infrastructures publiques en termes de développement durable.

¹¹ Boussole vaudoise du développement durable, dont le but est d'évaluer les politiques publiques et la mise en place de nouveaux projets sous l'angle du développement durable. Cet outil est disponible à l'adresse : <http://www.boussole21.ch/>

¹² "Sméo, fil rouge pour la construction durable" est un outil d'évaluation de la durabilité des bâtiments. Il est disponible à l'adresse : <http://www.smeo.ch/>

¹³ EstiaVia est un outil d'aide à la décision pour l'évaluation de la durabilité de la logistique de transport de marchandises. On trouve sa description à la page internet : <http://www.estia.ch/index.php?id=81>

Toute évaluation requiert une échelle de valeur. La capacité de l'outil Hermione de traiter aussi bien des aspects qualitatifs que quantitatifs d'une manière simple et riche est due à l'échelle de valeur qu'il utilise. Les résultats sont classés en trois catégories qui sont représentées par des couleurs : favorable (vert), neutre (jaune) ou défavorable (rouge). Pour modérer ce jugement, l'échelle de valeur est enrichie d'attributs secondaires positifs ou négatifs pour indiquer un petit avantage ou une réserve, comme l'indique la Figure 3.3. Il existe également deux véto utilisés exceptionnellement pour indiquer un problème majeur (véto négatif) ou un avantage dominant et décisif (véto positif).

Favorable	Favorable -	Neutre +	Neutre	Neutre -	Défavorable +	Défavorable
-----------	-------------	----------	--------	----------	---------------	-------------

Figure 3.3: Echelle de valeur pour une évaluation multicritère selon la méthode Hermione [Flourentzou et al. 2003]

Les utilisateurs évaluent tous les sous-critères sur la base de l'échelle de valeur définie. Pour les critères qualitatifs, la valeur est attribuée sur la base d'arguments expliqués dans un texte joint. Derrière chaque couleur il y a un jugement de valeur que les évaluateurs sont capables de justifier de manière convaincante.

L'agrégation des résultats se fait selon une règle, basée sur la majorité conditionnelle. Un élément est favorable si la majorité des sous-éléments sont favorables sans qu'il n'y ait un seul élément défavorable. Le degré de concordance pour former une majorité et le degré de discordance toléré en minorité sont des paramètres qui peuvent être changés, et doivent être établis par l'ensemble des parties prenantes. On considère généralement qu'un pourcentage de 50% est suffisant pour former une majorité et un pourcentage de 33 % est considéré comme la limite maximum d'évaluations négatives acceptables avant qu'une évaluation soit considérée comme globalement négative.

Cette méthode pose un cadre, une échelle de valeurs, et une évaluation transparente basée sur l'argumentation de chacun des éléments évalués. Elle permet d'évaluer aussi bien des critères quantitatifs que qualitatifs. Cette méthode ne propose pas de critères à évaluer, ceux-ci devant être déterminés spécifiquement pour chaque type d'évaluation. Ce cadre n'est donc pas lié à un contexte particulier et il très intéressant pour une évaluation de la durabilité d'un projet de Symbiose dans le contexte d'un pays en développement.

3.9.5. Global Reporting Initiative

La Global Reporting Initiative (GRI) a établi une directive qui "fournit aux organisations de toute taille, tout lieu et tout secteur un cadre fiable et crédible pour leur reporting développement durable" [GRI 2006]. Ce cadre, mis en place à l'aide de consultations d'experts d'entreprises, salariés, ONG, investisseurs, etc. a pour but d'établir une transparence commune et internationalement reconnue pour l'évaluation des démarches de

développement durable d'une organisation et leur communication. Le reporting développement durable consiste à mesurer la performance d'une organisation en matière de développement durable, à en communiquer les résultats puis à en rendre compte aux parties prenantes internes et externes. Il ne s'agit donc pas d'une norme certifiable, mais d'un cadre pour une auto-amélioration.

Les lignes directrices pour le reporting développement durable définissent le contenu du rapport et garantissent la qualité des informations diffusées. Elles définissent également les éléments d'information requis tels que les indicateurs de performance, et donnent des conseils sur des aspects techniques spécifiques du reporting.

Des protocoles existent pour chaque indicateur de performance requis dans les lignes directrices. Ils fournissent des définitions, un guide de procédures et d'autres informations permettant d'aider les rédacteurs du rapport et d'assurer une certaine cohérence dans l'interprétation des indicateurs de performance.

Les indicateurs de performance du GRI concernent sept thèmes : l'Economie, l'Environnement, l'Emploi, les relations sociales et le travail décent, les Droits de l'Homme, la Société et la Responsabilité du fait des produits. Pour chacun de ces thèmes, plusieurs indicateurs de performances sont définis. Le niveau d'application minimal de cette directive demande de renseigner au moins dix indicateurs de performance, dont au moins un social, un économique et un environnemental.

Ces lignes directrices et les indicateurs de performance s'appliquent à l'échelle de l'entreprise ou organisation. Elles ne s'appliquent donc pas pour un projet, tel que serait le besoin pour l'évaluation d'une Symbiose Industrielle. Cependant, il est très intéressant de s'inspirer de cette directive pour identifier les thèmes importants pour l'évaluation. Elle peut également servir d'exemple pour le choix d'indicateurs de performance.

Le GRI n'a pas pour objectif de comparer les différents indicateurs, mais uniquement de proposer un canevas pour une auto-évaluation et une communication au sujet du développement durable. Il n'y a donc pas d'échelle de valeurs ou de pondération pour les indicateurs proposés.

3.9.6. Méthodologies pour l'évaluation de la durabilité d'une Symbiose Industrielle

Il ressort de toutes les méthodes d'évaluation de la durabilité présentées ci-dessus qu'il existe une multitude d'outils d'évaluation de la durabilité, qui répondent à des besoins différents.

Les principes de Bellagio donnent un cadre très large pour définir le processus selon lequel une méthodologie d'évaluation de la durabilité devrait être élaboré.

D'autres comme les ACV sociales, la Table Ronde sur la Durabilité des Biocarburants et la Global Reporting Initiative proposent des lignes directrices, des thématiques à évaluer, des indicateurs et donnent un protocole pour les évaluer.

D'autres encore ne donnent pas d'indicateurs, mais proposent une stratégie pour évaluer et comparer des résultats qualitatifs et quantitatifs, sur la base de l'atteinte des objectifs fixés.

Pour l'évaluation de la durabilité d'un projet de Symbiose Industrielle dans les pays en développement, ces trois éléments sont nécessaires. Les méthodologies présentées pourront ainsi servir d'exemple et d'inspiration à la définition d'une méthodologie propre aux projets de Symbioses.

3.10. Conclusions

Nous retenons de ce chapitre l'intérêt de l'utilisation des Symbioses Industrielles pour mettre en œuvre un développement durable dans les pays en développement. Jusqu'à maintenant, l'utilisation de ces principes dans les pays en développement avait surtout pour objectif de réduire les impacts environnementaux de l'industrie. Cependant, nous entrevoyons que l'utilisation de ceux-ci pour créer et renforcer les liens sociaux entre une entreprise et la population avoisinante pourrait être d'autant plus intéressante. C'est ce que j'illustrerai aux chapitres 4 et 8.

L'utilisation de biocarburant comme matière d'échange dans une Symbiose Industrielle dans un pays en développement peut être profitable à certaines conditions. En effet, la sécurité alimentaire est parfois menacée, mais l'existence de cultures de rente telles que celles produisant des biocarburants ainsi que d'un marché où vendre celles-ci peut être nécessaire également pour que la population ait accès à des services payants tels que la santé ou l'éducation. Une Symbiose prévoyant ce type d'échange ne doit donc pas être écartée d'office, mais envisagée sous l'angle de la durabilité.

L'Analyse du Cycle de Vie est un outil bien adapté pour l'évaluation des impacts environnementaux des Symbioses Industrielles. Cependant son utilisation dans les pays en développement n'est pas totalement acquise. En effet, comme le mentionnent quelques auteurs, des freins pratiques existent et il est nécessaire de trouver de nouvelles solutions pour les surmonter. Ceci sera explicité au chapitre 5 à travers l'évaluation de notre étude de cas, ainsi qu'au chapitre 6 où nous identifierons plus précisément les problèmes rencontrés et proposerons une nouvelle méthodologie.

L'évaluation de la durabilité de projet a fait l'objet de la publication de récents outils. Nous observons que la majorité de ceux-ci élaborent une stratégie pour pouvoir traiter des résultats quantitatifs et qualitatifs. La méthode Hermione est l'une d'entre elles et sa particularité est de faire une évaluation de critères qualitatifs ou quantitatifs sans chercher à les agréger. Nous nous en inspirerons pour la méthodologie d'évaluation développée au chapitre 6. Cette méthode propose de définir pour chaque critère ou indicateur, une grille d'évaluation qui classe les résultats selon une échelle allant de favorable à défavorable, indiquant dans le premier cas que les objectifs ont été atteints, ou dans le second cas qu'il ne l'ont pas été.

3.11. Bibliographie

- ADIT (2005). *Les biocarburants et leurs coproduits*. Paris, ADIT Société nationale d'intelligence stratégique: 76
- Agarwal, A. and Strachan, P. (2008). "Spread the world: Is industrial symbiosis only a concept for developed countries?" The Journal for Waste & Resource Management Professionals, The Chartered Institution of Wastes Management UK **March 2008**: p.2
- ALCALA. (2009). "Asociación LCA Latinoamérica " Retrieved 06.05.2009, from <http://jp1.estis.net/sites/alcala/>.
- ALCANET. (2006). "African Life Cycle Assessment Network, ALCANET Website." Retrieved 06.05.2009, 2009, from <http://jp1.estis.net/sites/alcanet/>.
- Allen, D. T. (2002). *Wastes as raw materials*. In A handbook of Industrial Ecology. Ayres, R. U. and Ayres, L. W. Cheltenham, UK, Edward Elgar: 405-420.
- Allenby, B. R. and Cooper, W. E. (1994). "Understanding industrial ecology from a biological systems perspective." Environmental Quality Management **3(3)**: p.343-354. <http://dx.doi.org/10.1002/tqem.3310030310>
- Arena, A. P. (2001). "Spreading Life-Cycle Assessment to Developing countries. Lessons from Argentina." Journal of Industrial Ecology **4(3)**: p.3-6
- Ashton, W. S. (2004). *Regional Round-ups. Africa and Latin America. Puerto Rico*. In The industrial symbiosis research symposium at Yale (7-9.01.2004): Advancing the study of industry and environment. Yale F&ES Publication Series Report Number 3. Chertow, M. R., Ashton, W. S., Kuppalli, R. and Coppock, J. New Haven, USA, Yale School of Forestry & Environmental Studies. **3**: 14.
- Ashton, W. S. (2008). "Understanding the Organization of Industrial Ecosystems. A social Network Approach." Journal of Industrial Ecology **12(1)**: p.34-51
- Ayres, R. U. (1989). *Industrial metabolism*. In Technology and Environment. Ausubel, J. H. and Sladovich, H. E. Washington DC, National Academy Press: 23-49.
- Baas, L. W. (1995). "Cleaner production: beyond projects." Journal of Cleaner Production **3(1-2)**: p.55-59. [http://dx.doi.org/10.1016/0959-6526\(95\)00042-D](http://dx.doi.org/10.1016/0959-6526(95)00042-D)
- Baas, L. W. and Boons, F. (2007). *Industrial Symbiosis in a Social Science Perspective. Report on the Third International Industrial Symbiosis Research Symposium : Industrial Symbiosis in Action*. 5-6.08.2006. Lombardi, R. and Laybourn, P. Birmingham, England, Yale school of forestry & environmental studies: 77-82
- Baas, L. W. and Boons, F. A. (2004). "An industrial ecology project in practice: exploring the boundaries of decision-making levels in regional industrial systems " Journal of Cleaner Production **12**: p.1073-1085
- Baas, L. W. and Huisingh, D. (2008). "The synergistic role of embeddedness and capabilities in industrial symbiosis: illustration based upon 12 years of experiences in the Rotterdam Harbour and Industry Complex." Progress in Industrial Ecology **5(5/6)**: p.399-421
- Bain, A., Shenoy, M., Ashton, W. and Chertow, M. (2010). "Industrial symbiosis and waste recovery in an Indian industrial area." Resources, Conservation and Recycling **54(12)**: p.1278-1287. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.04.007>

- Basha, S. A., Gopal, K. R. and Jebaraj, S. (2009). "A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance." Renewable and Sustainable Energy Reviews **13**(6-7): p.1628-1634. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.031>
- Bayart, J.-B., Bulle, C., Deschênes, L., Margni, M., Pfister, S., Vince, F. and Koehler, A. (2010). "A framework for assessing off-stream freshwater use in LCA." The International Journal of Life Cycle Assessment **15**(5): p.439-453. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-010-0172-7>
- Bellekom, S., Potting, J. and Benders, R. (2006). "Feasibility of Applying Site-dependent Impact Assessment of Acidification in LCA (8 pp)." The International Journal of Life Cycle Assessment **11**(6): p.417-424. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2005.08.221>
- Benabadji, F. (2006). Biocarburants questions-réponses. 191p Boulogne-Billancourt, ETAI.
- Benoît, C. and Mazijn, B. (2009). Guidelines for Social Life Cycle Assessment, UNEP/SETAC Life Cycle Initiative: 104
- Benoît, C., Norris, G., Valdivia, S., Ciroth, A., Moberg, A., Bos, U., Prakash, S., Ugaya, C. and Beck, T. (2010). "The guidelines for social life cycle assessment of products: just in time!" The International Journal of Life Cycle Assessment **15**(2): p.156-163. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-009-0147-8>
- Bernardini, O. and Galli, R. (1993). "Dematerialization: Long-term trends in the intensity of use of materials and energy." Futures **25**(4): p.431-448. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-3287\(93\)90005-E](http://dx.doi.org/10.1016/0016-3287(93)90005-E)
- Bi, J. (2004). Regional Roud-ups. Asia-Pacific Region. China. In The industrial symbiosis research symposium at Yale (7-9.01.2004): Advancing the study of industry and environment. Yale F&ES Publication Series Report Number 3. Chertow, M. R., Ashton, W. S., Kuppalli, R. and Coppock, J. New Haven, USA, Yale School of Forestry & Environmental Studies. **3**: 12.
- Blanc, I., Friot, D., Cabon, J., Mäenpää, I., Steinberger, J. K., Krausmann, F., Erb, K., Tukker, A., Vercauteren, A. and Van Hoof, V. (2009). Evaluation of Environmental Accounting Methodologies for the assessment of global environmental impacts of traded goods and services. Report to SKEP. www.imea-eu.org, With the financial support of the SKEP network, ADEME, BMLFUW, VROM, LNE, Ministry of Environment of Finland
- Bordia, S. (2002). General Activity of life cycle assessment in developing countries and in Papua new guinea. Workshop on Gateway to Life Cycle Impact Assessment for APEC Member Economies, Tokyo, Japan
- Bordia, S. (2004). Relevance of Life Cycle Assessment in developing countries. Lae, Papua New Guinea: 21
- Börjesson, P. (2009). "Good or bad bioethanol from a greenhouse gas perspective - What determines this?" Applied Energy **86**(5): p.589-594. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.11.025>
- Bossilkov, A., van Berkel, R. and Corder, G. (2005). Regional Synergies for Sustainable Resource Processing: a Status Report. Project 3A1: Enabling Tools and Technologies For Capturing Regional Synergies. Perth, Centre for Sustainable Ressource Processing, Curtin University of Technology and the University of Queensland-Brisbane.: 116
- Boulay, A.-M., Bayart, J.-B., Bulle, C., Rosenbaum, R., Margni, M. and Deschênes, L. (2009). Water Use Impact Assessment Methodology and Application to Pulp and Paper Industry. The 4th international conference on Life Cycle Management : "The

- Global Challenge of managing life cycles" 6-9 sept. 2009. von Blottnitz, H. and Notten, P. Cape Town
- Brent, A. (2004). "*A Life Cycle Impact Assessment Procedure with Resource Groups as Areas of Protection.*" International Journal of LCA **9**(3): p.172-179
- Brent, A. and Hietkamp, S. (2003). "*Comparative Evaluation of Life Cycle Impact Assessment Methods with a South African Case Study.*" International Journal of LCA **8**(1): p.27-38
- Brent, A., Rohwer, M. B., Friedrich, E. and von Blottnitz, H. (2002). "*Status of Life Cycle Assessment and Engineering Research in South Africa.*" International Journal of LCA **7**(3): p.167-172
- Buchholz, T., Luzadis, V. A. and Volk, T. A. (2009). "*Sustainability criteria for bioenergy systems: results from an expert survey.*" Journal of Cleaner Production **17**(Supplement 1): p.S86-S98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.04.015>
- Bulle, C., Godin, J., Reid, C. and Deschênes, L. (2007). "*LUCAS - A New LCIA Method Used for a Canadian-Specific Context (10 pp).*" The International Journal of Life Cycle Assessment **12**(2): p.93-102. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2005.12.242>
- Casado Cañeque, F. (2002). *Evaluación de la situación laboral de empresas: El análisis del ciclo de vida como herramienta para el desarrollo sostenible.* Divisió de Ciències Jurídiques, Econòmiques i Socials. Barcelona, Spain, Universitat de Barcelona. **PhD Thesis**
- Chertow, M. R. (1998). "*The Eco-industrial Park Model Reconsidered.*" Journal of Industrial Ecology **2**(3): p.8-10
- Chertow, M. R. (1999). *Industrial Symbiosis: A multi-firm approach to sustainability.* Greening of Industry Network Conference. Best Practice Proceedings, UNC-Chapel Hill
- Chertow, M. R. (2000). "*Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy.*" Annual Review of Energy and Environment **25**: p.313-337
- Chertow, M. R. (2007). "*Uncovering Industrial Symbiosis.*" Journal of Industrial Ecology **11**(1): p.11-30. <http://dx.doi.org/10.1162/jiec.2007.1110>
- Chertow, M. R., Ashton, W. S. and Espinosa, J. C. (2008). "*Industrial Symbiosis in Puerto Rico: Environmentally Related Agglomeration Economies.*" Regional Studies **42**(10): p.1299-1312
- Chertow, M. R., Ashton, W. S. and Kuppalli, R. (2004). *Synthesis: Issues for further research.* In The industrial symbiosis research symposium at Yale (7-9.01.2004): Advancing the study of industry and environment. Yale F&ES Publication Series Report Number 3. Chertow, M. R., Ashton, W. S., Kuppalli, R. and Coppock, J. New Haven, USA, Yale School of Forestry & Environmental Studies. **3**: 28-32.
- Chertow, M. R. and Lombardi, R. (2004). "*Economic and environmental impacts from industrial Symbiosis exchanges: Guayama, Puerto Rico.*" Rensselaer Working Papers in Economics **0407**: p.31
- Chiu, A. and Yong, G. (2004). "*On the industrial ecology potential in Asian Developing Countries.*" Journal of Cleaner Production **12**(8-10): p.1037-1045
- Cleveland, C. J. and Ruth, M. (1998). "*Indicators of Dematerialization and the Materials Intensity of Use.*" Journal of Industrial Ecology **2**(3): p.15-50. <http://dx.doi.org/10.1162/jiec.1998.2.3.15>
- Corbière-Nicollier, T., Blanc, I. and Erkman, S. (2011). "*Towards a global criteria based framework for the sustainability assessment of bioethanol supply chains:*

- Application to the Swiss dilemma: Is local produced bioethanol more sustainable than bioethanol imported from Brazil?" Ecological Indicators 11(5): p.1447-1458. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.03.018>*
- Costa, I., Massard, G. and Agarwal, A. (2010). "Waste management policies for industrial symbiosis development: case studies in European countries." Journal of Cleaner Production 18(8): p.815-822. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.12.019>
- Curran, M. (2009). *Gap Analysis of Tools Used to Assess the Environmental Impacts of Biofuels in the United States. The 4th international conference on Life Cycle Management : "The Global Challenge of managing life cycles"* 6-9 sept. 2009. von Blottnitz, H. and Notten, P. Cape Town
- DAGRIS (2005). *Note sur les bio-carburants*. DAGRIS. Paris, Dagriss: 32
- Demirbas, A. (2009). "Progress and recent trends in biodiesel fuels." Energy Conversion and Management 50(1): p.14-34. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2008.09.001>
- Dinda, S. (2004). "Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey." Ecological Economics 49(4): p.431-455. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.011>
- Dreyer, L. C., Hauschild, M. Z. and Schierbeck, J. (2006). "A framework for social life cycle impact assessment." International Journal of LCA 11(2): p.88-97
- Duchin, F. and Hertwich, E. (2003). *Industrial Ecology*. In Online Encyclopaedia of Ecological Economics. Neumayer, E. London, International Society for Ecological Economics: 12.
- Ecofys (2009). *Summary of approaches to accounting for indirect impacts of biofuel production*. Utrecht, Commissioned by the Roundtable on Sustainable Biofuels: 57
- EEA (2006). *How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? EEA Report*. Copenhagen, European Environment Agency. 7/2006: 72
- Ehrenfeld, J. and Chertow, M. R. (2002). *Industrial symbiosis: the legacy of Kalundborg*. In A handbook of Industrial Ecology. Ayres, R. U. and Ayres, L. W. Cheltenham, UK, Edward Elgar: 334-348.
- Ehrenfeld, J. and Gertler, N. (1997). "Industrial Ecology in practice: The Evolution of Interdependence at Kalundborg." Journal of Industrial Ecology 1(1): p.67-79
- EIC (2005). *Production cotonnière au Sénégal, Etude des flux de ressources & Potentiels d'amélioration*. Blavot, C. Paris, Ecologie Industrielle Conseil: 68
- EIC (2006). *Etude des flux de ressources & Potentiels d'amélioration. Production Oléagineuse de NIOTO, Lomé, Togo*. Blavot, C. Paris, Ecologie Industrielle Conseil: 59
- ENERS (2004). *Le biodiesel*, ENERS Energy Concept, : 3. www.eners.ch
- Erkman, S. (2002). *The recent History of industrial ecology*. In A handbook of Industrial Ecology. Ayres, R. U. and Ayres, L. W. Cheltenham, UK, Edward Elgar: 27-35.
- Erkman, S. (2004). Vers une écologie industrielle. 251p Paris, C. L. Mayer.
- Erkman, S. and Ramaswamy, R. (2000). *Cleaner production at the System Level: Industrial Ecology as a Tool for Development Planning (Case Studies in India)*. Plenary lecture. UNEP's 6th International High-level Seminar on Cleaner Production, Montréal, Canada
- Erkman, S. and Ramaswamy, R. (2003). Applied Industrial Ecology. A new platform for planning sustainable societies. Focus on Developing Countries with case studies from India. 160p Bangalore, Aicra publishers.

- Eshun, J., Potting, J. and Leemans, R. (2010). "Inventory analysis of the timber industry in Ghana." The International Journal of Life Cycle Assessment **15**(7): p.715-725. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-010-0207-0>
- Fan, X. (2008). *L'économie circulaire en Chine. Thèse de doctorat. Centre de recherches et d'études interdisciplinaires sur le développement durable (CREIDD)*. Troyes, France, Université Technologique de Troyes (UTT). **Doctorat: 386**
- FAO (2009). *Small-Scale Bioenergy Initiatives : Brief description and preliminary lessons on livelihood impacts from case studies in Asia, Latin America and Africa*. , Prepared for PISCES and FAO by Practival Action Consulting, January 2009: 135
- Fava, J., Consoli, F., Denison, R., Dickson, K., Mohin, T. and Vigon, B. (1993). *A conceptual framework for life-cycle impact assessment. Workshop report*. Pensacola, Society for Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC): 188
- Finnveden, G., Hauschild, M., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D. and Suh, S. (2009). "Recent developments in Life Cycle Assessment." Journal of Environmental Management **91**(1): p.1-21
- Finnveden, G. and Nilsson, M. (2005). "Site-dependent Life-Cycle Impact Assessment in Sweden." The International Journal of Life Cycle Assessment **10**(4): p.235-239. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2005.05.209>
- Fleig, A.-K. (2000). *ECO-Industrial Parks, A strategy towards industrial ecology in developing and newly industrialised countries. Pilot Project*. Eschborn, GTZ, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit: 48
- Flourentzou, F. (2011). *Chapter 7. Measures for urban sustainability*. In Computer modelling for sustainable urban design : physical principles, methods and applications. Robinson, D. London, Washington DC, Earthscan.
- Flourentzou, F., Greuter, G. and Roulet, C.-A. (2003). *Hermione, une nouvelle méthode d'agrégation qualitative basée sur des règles*. 58èmes journées du groupe de Travail Européen Aide Multicritère à la Décision. 9-11 octobre 2003, Moscou
- Foley, J. and Lant, P. (2009). "Regional normalisation figures for Australia 2005/2006—inventory and characterisation data from a production perspective." The International Journal of Life Cycle Assessment **14**(3): p.215-224. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-009-0063-y>
- Fritsche, U. R., Hennenberg, K. J., Hermann, A., Hünecke, K., Schulze, F., Wiegmann, K., Fehrenbach, H., Roth, E., Hennecke, A. and Giegrich, J. (2009). *Sustainable Bioenergy: Current status and outlook. Summary of recent results from the research project. Development of strategies and sustainability standards for the certification of biomass for international trade*. Environmental Research Plan of the Federal Ministry for Environment, Nature Protection and Nuclear Safety Interim Report FKZ 37 07 93 100. Darmstadt, Heidelberg, Ökoinstitute and IFEU, commissioned by the Federal Environment Agency (Umweltbundesamt, Deutschland): 34
- Fritsche, U. R., Hennenberg, K. J. and Hünecke, K. (2010). *The "iLUC Factor" as a Means to Hedge Risks of GHG Emissions from Indirect Land Use Change. Working Paper, June 2010*. Sustainability Standards for internationally traded Biomass. Darmstadt, Öko-Institute: 60
- Frosch, R. A. and Gallopoulos, N. E. (1989). "Strategies for Manufacturing." Scientific American **261**(3): p.144-152
- Gallego, A., Rodríguez, L., Hospido, A., Moreira, M. and Feijoo, G. (2010). "Development of regional characterization factors for aquatic eutrophication." The International

- Journal of Life Cycle Assessment **15**(1): p.32-43. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-009-0122-4>
- Gertsakis, J. and Lewis, H. (2003). *Sustainability and the Waste Management Hierarchy : a discussion paper for EcoRecycle Victoria*. Melbourne, RMIT University: 16. http://www.cfd.rmit.edu.au/programs/sustainable_products_and_packaging/sustainability_and_the_waste_management_hierarchy
- Giampietro, M., Ulgiati, S. and Pimentel, D. (1997). "Feasibility of Large-Scale Biofuel Production." BioScience **47**(9): p.587-600
- Goedkoop, M. (2005). *LCIA methodology development in developing economies*. Pré Consultant LCA discussion email forum, 28.11.2005
- Goedkoop, M. (2009). *Impact Assessment in Latin America*. 2nd China LCM Conference. Beijing: 21
- Graedel, T. E. (1996). "On the concept on Industrial Ecology." Annual Review of Energy and the Environment **21**(1): p.69-98. <http://arjournals.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.energy.21.1.69>
- GRAIN (2007) "Non à la folie des agrocarburants." GRAIN Briefings **2007**, 2.
- GRI (2006). *Lignes directrices pour le reporting développement durable. Version 3.0*, Global Reporting Initiative: 46. http://www.globalreporting.org/NR/rdonlyres/C5E61A92-7CE0-403C-B9EC-7BABC182FDA8/2847/G3_FR_RG_Final_with_cover.pdf
- GTZ. (2009). "Eco-industrial development of Philippine economic zones." Retrieved 01.09.2010, from <http://www.gtz.de/en/weltweit/asien-pazifik/philippinen/22308.htm>.
- Hardi, P. and Zdan, T. (1997). Bellagio principles in practice. 175p Winnipeg The International Institute for Sustainable Development.
- Hauschild, M. Z., Dreyer, L. C. and Jorgensen, A. (2008). "Assessing social impacts in a life cycle perspective--Lessons learned." CIRP Annals - Manufacturing Technology **57**(1): p.21-24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2008.03.002>
- Heineken. (2010). "Les rejets et gestion des déchets." Retrieved 12.10.2010, from http://www.heineken-entreprise.fr/les-rejets-et-gestion-des-dechets_31.html.
- Herman, R., Ardekani, S. A. and Ausubel, J. H. (1990). "Dematerialization." Technological forecasting and social change **38**: p.333-347
- Hirschhorn, J., Jackson, T. and Baas, L. W. (1993). *Towards prevention — the emerging environmental management paradigm*. In Clean Production Strategies: Developing Preventive Environmental Management in the Industrial Economy. Jackson, T. Boca Raton, FL, Lewis Publishers: 125–142.
- Humbert, S., Shaked, S., Manneh, R., Margni, M. and Jolliet, O. (2009). *Regionalization of life cycle impact assessment: geographic differentiation vs archetypes*. The 4th international conference on Life Cycle Management : "The Global Challenge of managing life cycles" 6-9 sept. 2009. von Blottnitz, H. and Notten, P. Cape Town
- Hunkeler, D. (2006). "Societal LCA Methodology and Case Study " The International Journal of Life Cycle Assessment **11**(6): p.371-382. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2006.08.261>
- IISD.org. (2010). "Les principes de Bellagio au complet." Retrieved 14.05.2010, from http://www.iisd.org/measure/principles/progress/bellagio_full_fr.asp.
- Isenmann, R. (2003). "Industrial ecology: shwdding more light on its perspective of understanding nature as model." Sustainable Development **11**(3): p.143-158

- Jacobsen, N. B. (2006). "Industrial Symbiosis in Kalundborg, Denmark: A Quantitative Assessment of Economic and Environmental Aspects." Journal of Industrial Ecology **10**(1-2): p.239-255. <http://dx.doi.org/10.1162/108819806775545411>
- Jorgensen, A., Finkbeiner, M., Jorgensen, M. S. and Hauschild, M. (2010). "Defining the baseline in social life cycle assessment." The International Journal of Life Cycle Assessment Online First. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-010-0176-3>
- Jorgensen, A., Hauschild, M., Jorgensen, M. S. and Wangel, A. (2009). "Relevance and feasibility of social life cycle assessment from a company perspective." The International Journal of Life Cycle Assessment **14**(3): p.204-214. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-009-0073-9>
- Jorgensen, A., Le Bocq, A., Nazarkina, L. and Hauschild, M. Z. (2008). "Methodologies for social life cycle assessment." The International Journal of Life Cycle Assessment **13**(2): p.96-103. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2007.11.367>
- Jungbluth, N., Büsser, S., Frischknecht, R. and Tuchschild, M. (2008). *Life Cycle Assessment of Biomass-to-Liquid Fuels*. Berne, Switerland, ESU-services GmbH, sous mandat de l'Office Fédéral de l'Energie (OFEN), Office Fédéral de l'Environnement (OFEV) et l'Office Fédéral de l'Agriculture (OFAG): 35
- Kaltschmitt, M., Reinhardt, G. A. and Stelzer, T. (1997). "Life cycle analysis of biofuels under different environmental aspects." Biomass and Bioenergy **12**(2): p.121-134. [http://dx.doi.org/10.1016/S0961-9534\(96\)00071-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0961-9534(96)00071-2)
- Kane, H. (1997). "Eco-farming in Fiji." World Watch July/August: p.29-34
- Kemajou, A., Bergossi, O., Tamo Tatietsé, T. and Diboma, B. S. (2008). "Is industrial development incompatible with constraints of industrial ecology in Cameroon?" International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology **6**(62): p.194-203
- Kituyi, E. (2004a). "Integrating life cycle approaches to African national development policies: considering the institutional dimension of industrial ecology." Progress in Industrial Ecology **1**(1/2/3): p.229-244
- Kituyi, E. (2004b). "Towards sustainable production and use of charcoal in Kenya: exploring the potential in life cycle management approach." Journal of Cleaner Production **12**(8-10): p.1047-1057
- Klöpffer, W. (2003). "Life-cycle based methods for sustainable product development." The International Journal of Life Cycle Assessment **8**(3): p.157-159
- Klöpffer, W. (2008). "Life cycle sustainability assessment of products." The International Journal of Life Cycle Assessment **13**(2): p.89-95. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2008.02.376>
- Korhonen, J. (2004). "Industrial Ecology in the strategic sustainable development model : strategic applications of industrial ecology." Journal of Cleaner Production **12**(8-10): p.809-823
- Korhonen, J. and Snäkin, J.-P. (2005). "Analysing the evolution of industrial ecosystems: concepts and application." Ecological Economics **52**(2): p.169-186. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.07.016>
- Krewitt, W., Trukenmüller, A., Bachmann, T. and Heck, T. (2001). "Country-specific damage factors for air pollutants." The International Journal of Life Cycle Assessment **6**(4): p.199-210. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02979375>
- Kruse, S., Flysjö, A., Kasperczyk, N. and Scholz, A. (2009). "Socioeconomic indicators as a complement to life cycle assessment—an application to salmon production

- systems.*" International Journal of LCA. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-008-0040-x>
- Kuada, J. and Sorensen, O. J. (2005). "*Facilitated inter-firm collaboration in Ghana: the case of Danida's private-sector development projects.*" Development in practice **15**(3&4): p.475-489
- Kurup, B., Altham, W. and van Berkel, R. (2005). *Triple Bottom Line Accounting Applied for Industrial Symbiosis*. 4th ALCAS Conference, 23-25 february 2005. Sydney: 14
- Kuznets, S. (1955). "*Economic Growth and Income Inequality.*" The American Economic Review **45**(1): p.1-28. <http://www.jstor.org/stable/1811581>
- Lafarge group (2007). *Lafarge au Kenya et en Ouganda : un engagement durable. Dossier de presse, octobre 2007*. Paris, Lafarge: 25. www.lafarge.fr/10292007-press_themabook_group_finance-africa-fr.pdf
- Lafarge group. (2009a). "*Cas pratique, Environnement. Malaisie - Valorisation énergétique de la biomasse.*" Retrieved 14.04.2009, from http://www.lafarge.fr/wps/portal/2_4_4_1-EnDet?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/Lafarge.com/AllCS/Env/NR/CP1610621923/CSFR.
- Lafarge group. (2009b). "*Cas pratique, Environnement. Ouganda - Valorisation énergétique de la biomasse.*" Retrieved 14.04.2009, from http://www.lafarge.fr/wps/portal/2_4_4_1-EnDet?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/Lafarge.com/AllCS/Env/NR/CP1610621644/CSFR.
- Lafarge group. (2009c). "*Cas pratique, Environnement. Philippines - Valorisation énergétique des balles de riz.*" Retrieved 14.04.2009, from http://www.lafarge.fr/wps/portal/2_4_4_1-EnDet?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/Lafarge.com/AllCS/Env/NR/CP1610621360/CSFR.
- Lafourcade, C. (2008). *Les synergies agro-industrielles : Une réponse à la mise en péril de l'activité maraîchère ? Etude de faisabilité sur le canton de Genève* Genève, SOFIES: 31
- Laney, K. (2006). *Biofuels, promises and constraints*. IPC Discussion Paper, International Food and Agricultural Trade Policy Council
- Laybourn, P. (2007). *NISP: Origines and Overview*. Report on the Third International Industrial Symbiosis Research Symposium : Industrial Symbiosis in Action. 5-6.08.2006. Lombardi, R. and Laybourn, P. Birmingham, England, Yale school of forestry & environmental studies: 13-18
- Lei, S. (2007). *Industrial Symbiosis Activity in China*. Report on the Third International Industrial Symbiosis Research Symposium : Industrial Symbiosis in Action. 5-6.08.2006. Lombardi, R. and Laybourn, P. Birmingham, England, Yale school of forestry & environmental studies: 33-35
- Lifset, R. J. (2006). "*Industrial Ecology and Life Cycle assessment. What's the Use?*" The International Journal of Life Cycle Assessment **11**(Special Issue 1): p.14-16
- Lifset, R. J. and Graedel, T. E. (2002). *Industrial ecology: goals and definitions*. In A handbook of Industrial Ecology. Ayres, R. U. and Ayres, L. W. Cheltenham, UK, Edward Elgar: 3-15.

- Lowe, E. A. (2001). *Appendix 1: Case Profiles*. In *Eco-industrial Park Handbook for Asian Developing Countries*. Report to Asian Development Bank. Oakland, Canada, Indigo Development: 26.
- Lowe, E. A. (2005). *An eco-industrial park definition for the circular economy*, Policy research center for environment and economy, State Environmental Protection Administration, China: 7. http://www.indigodev.com/Defining_EIP.html
- Mangoyana, R. B. (2009). "Bioenergy for sustainable development: An African context." *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* **34**(1-2): p.59-64. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2008.01.002>
- Massard, G. (2010). *Communication personnelle : Discussion au sujet des symbioses existantes aux Philippines*. Schwab Castella, P. Lausanne
- Mathews, J. A. (2008). "Carbon-negative biofuels." *Energy Policy* **36**(3): p.940-945. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2007.11.029>
- Nakicenovic, N. (1997). *Freeing Energy from Carbon*. In *Technological Trajectories and the human environment*. Ausubel, J. H. and Langford, H. D. Washington DC, National Academy Press: 74-88.
- Ndong, R., Montrejaud-Vignole, M., Saint Girons, O., Gabrielle, B., Pirot, R., Domergue, M. and Sablayrolles, C. (2009). "Life Cycle assessment of biofuels from *Jatropha curcas* in West Africa: a field study." *GCB Bioenergy* **1**: p.197-210
- Newman, P. W. G. (1999). "Sustainability and cities: extending the metabolism model." *Landscape and Urban Planning* **44**(4): p.219-226. [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-2046\(99\)00009-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-2046(99)00009-2)
- NISP, Berrill, D. and Parry, C. (2006). "Terra Nitrogen (UK), A fruitfull collaboration." Retrieved 17.08.2010, from http://www.nisp.org.uk/article_main.aspx?feedid=casestudy&itemid=152.
- Norris, G. (2004). *Life cycle sustainable consumption analysis: evaluating the health impacts of income changes and development in life cycle assessments. Final report*. Tokyo, The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology(AIST)
- Ntiamoah, A. and Afrane, G. (2008). "Environmental impacts of cocoa production and processing in Ghana: life cycle assessment approach." *Journal of Cleaner Production* **16**: p.1735-1740
- Ntiamoah, A., Afrane, G. and Ofori-Boateng, C. (2009). *Comparative LCA of Charcoal, Biogas and LPG as cooking fuels in Ghana*. The 4th international conference on Life Cycle Management : "The Global Challenge of managing life cycles" 6-9 sept. 2009. von Blottnitz, H. and Notten, P. Cape Town
- O'Brien, M., Doig, A. and Clift, R. (1996). "Social and environmental life cycle assessment (SELCA)." *The International Journal of Life Cycle Assessment* **1**(4): p.231-237. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02978703>
- Odum, H. (1996). *Environmental Accounting, energy and decision making*. 370p New York, John Wiley.
- Ometto, A. R., Ramos, P. A. R. and Lombardi, G. (2007). "The benefits of a Brazilian agro-industrial symbiosis system and the strategies to make it happen." *Journal of Cleaner Production* **15**(13-14): p.1253-1258. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.07.021>
- Özyurt, D. B. and Realf, M. J. (2002). "Combining a Geographical Information System and Process Engineering to Design an Agricultural-Industrial Ecosystem." *Journal of Industrial Ecology* **5**(3): p.13-31

- Parent, J., Cucuzzella, C. and Revéret, J.-P. (2010). "Impact assessment in SLCA: sorting the sLCIA methods according to their outcomes." The International Journal of Life Cycle Assessment **15**(2): p.164-171. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-009-0146-9>
- Patterson, R. (2008). "Preparing Sub-Saharan Africa for a Pioneering Role in Eco-industrial Development." Journal of Industrial Ecology **12**(4): p.501-504. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1530-9290.2008.00069.x>
- Pena, C., Wiertz, J., Rozas, I. and Ulloa, P. (2002). *Life Cycle Assessment as a Process Comparison Tool in the Chilean Copper Production*. Workshop on LCA and Metals, Montreal
- PEZA. (2005). "Philippines Economic Zone Authority. Online Environment Corner : Developing a Management Approach for Eco-Industrial Development in Philippine Economic Zones." Retrieved 26.08.2010, from <http://environment.peza.gov.ph/projects.php>.
- Phalakornkule, C., Petiruksakul, A. and Puthavithi, W. (2009). "Biodiesel production in a small community: Case study in Thailand." Resources, Conservation and Recycling **53**(3): p.129-135. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.10.001>
- Pimentel, D. (2003). "Ethanol Fuels: Energy balance, economics, and environmental impacts are negative." Natural Resources Research **12**(2): p.127-134
- Poitrat, E. (1999). *Biocarburants*. In Génie énergétique. l'Ingénieur, L. T. d. Paris. **BE3**: BE 8550, p1-13.
- Potting, J. and Hauschild, M. Z. (2006). "Spatial Differentiation in Life Cycle Impact Assessment. A decade of method development to increase the environmental realism of LCIA." International Journal of LCA **11**(Special Issue 1): p.11-13
- PWC (2002). *Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production de biocarburants en France. Note de synthèse*. PriceWaterHouseCoopers, Ecobilan, ADEME and DIREM: 19
- Ramaswamy, R. (2004a). *Industrial Ecology - A new platform for planning sustainable societies*. In Governance for industrial transformation. Proceedings of the 2003 Berlin Conference on the human dimension of global environmental change. Jacob, K. and Wieczorek, A. Berlin, Environmental Policy Research Centre: 448-458.
- Ramaswamy, R. (2004b). *Regional Roud-ups. South Asia. India*. In The industrial symbiosis research symposium at Yale (7-9.01.2004): Advancing the study of industry and environment. Yale F&ES Publication Series Report Number 3. Chertow, M. R., Ashton, W. S., Kuppalli, R. and Coppock, J. New Haven, USA, Yale School of Forestry & Environmental Studies. **3**: 13.
- Ramaswamy, R. (2007). *Industrial Symbiosis and Regional Planning. Report on the Third International Industrial Symbiosis Research Symposium : Industrial Symbiosis in Action*. 5-6.08.2006. Lombardi, R. and Laybourn, P. Birmingham, England, Yale school of forestry & environmental studies: 63-65
- Ramjeawon, T. (2004). "The African LCA network." LC.net(3):
- Ramjeawon, T. (2008). "Life Cycle Assessment of electricity generation from bagasse in Mauritius." Journal of Cleaner Production **16**: p.1727-1734
- Reap, J., Roman, F., Duncan, S. and Bras, B. (2008a). "A survey of unresloved problems in life cycle assessment. Part 1: goal and scope and inventory analysis." International Journal of LCA **13**: p.290-300

- Reap, J., Roman, F., Duncan, S. and Bras, B. (2008b). "A survey of unresolved problems in life cycle assessment. Part 2: impact assessment and interpretation." International Journal of LCA **13**: p.374-388
- Reijnders, L. and Huijbregts, M. A. J. (2007). "Life cycle greenhouse gas emissions, fossil fuel demand and solar energy conversion efficiency in European bioethanol production for automotive purposes." Journal of Cleaner Production **15**(18): p.1806-1812. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.05.007>
- Reijnders, L. and Huijbregts, M. A. J. (2008). "Biogenic greenhouse gas emissions linked to the life cycles of biodiesel derived from European rapeseed and Brazilian soybeans." Journal of Cleaner Production **16**(18): p.1943-1948. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.01.012>
- Roquier, B. (2005). *Environmental Evaluation of a Glass Bangle Factory in Firozabad (India)*. Lausanne, EPFL: 28 + annexes
- Rosillo-Calle, F., de Groot, P., Hemstock, S. and Woods, J. (2007). The Biomass assessment Handbook. Bioenergy for a Sustainable Environment London; UK, Earthscan.
- RSB (2009a). *Indicators of Compliance for the RSB Principles & Criteria. Roundtable on Sustainable Biofuels*. Lausanne, EPFL: 64
- RSB (2009b). *Introduction to the RSB Certification System. Roundtable on Sustainable Biofuels*. Lausanne, EPFL: 30
- RSB (2009c). *Principes et critères RSB pour la production durable de biocarburants. Roundtable on Sustainable Biofuels*. Lausanne, EPFL: 34
- RSB (2009d). *RSB Guidance on Principles & Criteria for Sustainable biofuel production. Roundtable on Sustainable Biofuels*. Lausanne, EPFL: 23
- Rulli, J. (2007). "Biocarburants : quand l'Europe se donne bonne conscience, les petits paysans du Sud trinquent." Le monde Swissaid **2**:
- Sander, K. and Murthy, G. (2010). "Life cycle analysis of algae biodiesel." The International Journal of Life Cycle Assessment **15**(7): p.704-714. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-010-0194-1>
- Schall, J. (1992). *Does the Solid Waste Management Hierarchy Make Sense? A Technical, Economic & Environmental Justification for the Priority of Source Reduction and Recycling*. Yale Working Papers on Solid Waste Policy. Lifset, R. J. New Haven, Yale School of Forestry and Environmental Studies. **1**
- Schmidlin, M. (2000). *Perspectives concrètes de l'écologie industrielle en Afrique. L'exemple du Cameroun*. Genève/Douala, ICAST: 53
- Schwab Castella, P. (2007). *Compte-rendu personnel à la suite de la conférence sur les biocarburants. Conférence internationale : Enjeux et perspectives des biocarburants pour l'Afrique. 27-29 novembre 2007*. Ouagadougou
- Schwab-Castella, P. and Erkman, S. (2007a). *Agro-industrial symbiosis and population's living condition improvement in North Nigeria. Oral presentation and extended abstract. R'07 World Congress, Recovery of Materials and Energy for Resource Efficiency, 3-5.09. 2007, Davos, Switzerland*
- Schwab-Castella, P. and Erkman, S. (2007b). *Use of industrial symbiosis concepts as a tool for rural development in West Africa. Poster and presentation. ISIE - International Symbiosis and Industrial Ecology conference, 17-20 June 2007, Toronto, Canada*

- Schwab-Castella, P. and Erkman, S. (2009). *Life cycle assessment of biofuels in West Africa : what a challenge! Oral presentation and proceedings*. 4th International Conference on Life Cycle Management - LCM2009, 6-9 sept 2009, Cape Town, South Africa
- Searchinger, T. (2009). *Evaluating Biofuels. The consequences of using land to make fuel*. GMF Paper series. Washington, The German Marshall Fund of the United States: 29
- SEASIA. (2009). "South and South-East Asia (SEASIA) Network on Life Cycle Initiative of UNEP." Retrieved 06.05.2009, 2009, from <http://vn1.estis.net/sites/seasia/>.
- Sheehan, J., Camobreco, V., Duffield, J., Graboski, M. and Shapouri, H. (1998). *Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus*. Golden, US Dept of Energy's Office of Fuels development, US Dept of Agriculture's Office of Energy.
- Singhal, S. and Kapur, A. (2002). "Industrial estate planning and management in India--an integrated approach towards industrial ecology." *Journal of Environmental Management* **66**(1): p.19-29. <http://dx.doi.org/10.1006/jema.2002.0571>
- Skubich, L. (2008). *Les parcs éco-industriels et leur pertinence en tant qu'application du concept de développement durable*. Lyon, Université de Lyon 2, Institut d'Etudes Politiques de Lyon: 80
- Smeets, E., Faaij, A. and Lewandowski, I. (2005). *The impact of sustainability criteria on the costs and potentials of bioenergy production. An exploration of the impact of the implementation of sustainability criteria on the costs and potential of bioenergy production, applied for case studies in Brazil and Ukraine*. FAIR Biotrade project. Utrecht, Copernicus Institute, commissioned by the Dutch electricity company Essent N.V. and NOVEM.: 106
- Socolow, R. (1997). *Fuels decarbonization and Carbon sequestration: Report of a Workshop*. Report n°302. Princeton, The center for energy and environmental studies, Princeton University
- Sokka, L., Melanen, M. and Nissinen, A. (2008). "How can the sustainability of industrial symbioses be measured?" *Progress in Industrial Ecology* **5**(5/6): p.518-535
- Sonnemann, G. and de Leeuw, B. (2006). "Life Cycle Management in Developing Countries: State of the Art and Outlook." *International Journal of LCA* **11**(Special Issue 1): p.123-126
- Su, C.-L. and Lee, Y.-M. (2009). "Development status and life cycle inventory analysis of biofuels in Taiwan." *Energy Policy* **37**(2): p.754-758. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.076>
- Suppen, N. (2005). "LCA Association in Latin America." *International Journal of LCA* **10**(5): p.376
- Swarr, T. E. (2009). "Societal life cycle assessment - could you repeat the question?" *International Journal of LCA* **14**(4): p.285-289
- Thabrew, L., Wiek, A. and Ries, R. (2009). "Environmental decision making in multi-stakeholder contexts: applicability of life cycle thinking in development planning and implementation." *Journal of Cleaner Production* **17**(1): p.67-76
- The Symbiosis Institute (2011). Kalundborg Industrial Symbiosis. Retrieved 29.03.2011 from <http://www.symbiosis.dk/industrial-symbiosis.aspx>.
- Tibbs, H. (1993). *Industrial Ecology : an environmental agenda for industry*. (GBN), G. B. N. Emeryville, Global Business Network (GBN): 29

- Tilley, D. R. (2003). "*Industrial Ecology and Ecological Engineering: Opportunities for Symbiosis.*" Journal of Industrial Ecology 7(2): p.13-32. <http://dx.doi.org/10.1162/108819803322564325>
- Udo de Haes, H. (2004). "*Life-Cycle Assessment and Developing Countries.*" Journal of Industrial Ecology 8(1-2): p.8-10
- Udo de Haes, H., Heijungs, R., Suh, S. and Huppes, G. (2004). "*Three Strategies to Overcome the Limitations of Life-Cycle Assessment.*" Journal of Industrial Ecology 8(3): p.19-32
- UNEP (1999). Towards the global use of life cycle assessment. Paris, UNEP, DTIE.
- UNEP, Udo de Haes, H., van Rooijen, M., Saur, K., Norris, G. and Jolliet, O. (2005). *Life Cycle Approaches: the road from analysis to practice.* Paris, UNEP-DTIE /SETAC Life Cycle Initiative: 89
- van Berkel, R. (2010). "*Quantifying Sustainability Benefits of Industrial Symbioses.*" Journal of Industrial Ecology 14(3): p.371-373
- van der Voet, E., Lifset, R. J. and Luo, L. (2010). "*Life-Cycle Assessment of biofuels, convergence and divergence.*" Biofuels 1(3): p.435-449
- von Blottnitz, H. (2005). Summary of Proceedings. First African Life Cycle Assessment Symposium, Nairobi, Kenya, UNEP, African Roundtable on Sustainable Consumption and Production, African Life Cycle Assessment Network
- von Blottnitz, H. and Curran, M. A. (2007). "*A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective.*" Journal of Cleaner Production 15(7): p.607-619
- WBCSD (2008). *Sustainable consumption facts and trends: from a business perspective.* Genève, Suisse, World Business Council for Sustainable Development
- Weidema, B. (2006). "*The Integration of Economic and Social Aspects in Life Cycle Impact Assessment.*" The International Journal of Life Cycle Assessment 11(Special Issue 1): p.89-96. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2006.04.016>
- Wolf, A. and Karlson, M. (2008). "*Evaluating the environmental benefits of industrial symbiosis: discussion and demonstration of a new approach.*" Progress in Industrial Ecology 5(5/6): p.502-517
- Yevich, R. and Logan, J. A. (2003). "*An assessment of biofuel use and burning of agricultural waste in the developing world.*" Global Biogeochemical Cycles 17(4): p.6.1-6.40
- Yong, G. (2005). *Potentials and barriers in Chinese eco-industrial development.* Industrial Symbiosis research symposium, june 11, 2005. Stockholm. <http://www.delabs.org/conference/stockholm/presentations.html>
- Yong, G. and Cote, R. P. (2004). "*Applying industrial ecology in rapidly industrializing Asian countries.*" International Journal of Sustainable Development & World Ecology 11(1): p.69-85
- Zah, R., Faist, M., Reinhard, J. r. and Birchmeier, D. (2009). "*Standardized and simplified life-cycle assessment (LCA) as a driver for more sustainable biofuels.*" Journal of Cleaner Production 17(Supplement 1): p.S102-S105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.04.004>
- Zah, R., Widmer, R. and Hischier, R. (2006). *Environmental Assessment of Biofuels using LCA. REPIC Seminar: Growing Fuel in Developing Countries: Lessons from Brazil and India, 31.10.2006.* Bern, Switzerland: 22

- Zakaria, Z., Hassan, M. and Awang, M. (1999). "Current status and needs for life cycle assessment development in Asian/Pacific Regions." The International Journal of Life Cycle Assessment **4**(4): p.191-194. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02979494>
- Zamagni, A., Buttol, P., Porta, P. L., Buonamici, R., Masoni, P., Guinée, J., Heijungs, R., Ekvall, T., Bersani, R., Bienkowska, A. and Pretato, U. (2008). *Critical review of the current research needs and limitations related to ISO-LCA practice*. Roma, Italy, ENEA and CALCAS (Coordination Action for innovation in Life-Cycle Analysis for Sustainability)
- Zhu, Q. and Cote, R. P. (2004). "Integrating green supply chain management into an embryonic eco-industrial development: a case study of the Guitang Group." Journal of Cleaner Production **12**(8-10): p.1025-1035. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.030>
- Zhu, Q., Lowe, E. A., Wei, Y.-a. and Barnes, D. (2007). "Industrial Symbiosis in China, A case study of the Guitang Group." Journal of Industrial Ecology **11**(1): p.1-12
- Ziegler, J. and Cuénod, J.-N. (2007). "Rouler "propre" et accélérer la faim dans le monde? Interview de Jean Ziegler." 24 Heures **12 octobre 2007**:

Chapitre 4

Etude de cas d'une cimenterie au Nigéria

4.1. Introduction

Ce chapitre présente une étude de cas de Symbiose Agro-Industrielle au Nord du Nigéria. Une usine productrice de ciment souhaite initier un nouveau lien d'échange de matière avec la population alentour. Le but est de remplacer une partie du combustible fossile utilisé par de la biomasse locale, dans une logique de Symbiose Agro-Industrielle.

L'objectif de ce chapitre est principalement descriptif. Il s'agit de présenter le cadre et les buts de ce projet tel que les a définis l'entreprise, afin d'avoir une vision détaillée des enjeux et de la stratégie utilisée. La question qui sous-tend ce chapitre est la suivante : comment le projet de durabilité d'une entreprise qui a des objectifs principalement économiques peut s'insérer dans un contexte socio-économique en développement?

Ce chapitre nous servira de base pour les chapitres d'analyse qui suivront.

Le chapitre 5 présentera une analyse des impacts environnementaux du projet prévu, et sera suivi au chapitre 6 par une critique et une proposition d'adaptation de la méthodologie des analyses du cycle de vie pour les pays en développement. Cette méthodologie sera appliquée à notre étude de cas au chapitre 7. Le chapitre 8 présentera une sélection d'éléments-clés pour la mise en place et la réussite d'une Symbiose Agro-Industrielle en Afrique de l'Ouest, identifiés à partir du projet présenté dans ce chapitre 4.

Dans ce chapitre, je vais premièrement présenter le contexte du nord du Nigéria et l'entreprise initiatrice de ce projet. Aux points 4.3 et 4.4, je décrirai les objectifs du projet, les options possibles et montrerai les différentes étapes de réalisation. Le point 4.4 se terminera par un état des lieux de l'avancement du projet après la première année pilote et les perspectives qu'il offre sur le long terme. Le point 4.5 abordera les principales critiques qui pourraient être faites à ce projet et comment elles sont résolues ou non. Sur cette base, je présenterai au point 4.6 le potentiel intérêt de ces nouvelles synergies en termes environnementaux, sociaux et économiques.

4.2. Contexte et objectifs

Cette étude de cas se passe en Afrique de l'Ouest et plus particulièrement au Nord du Nigéria, dans la région de Gombé. Le contexte de ce pays et de cette région est déterminant pour comprendre la situation de départ, les tensions sociales existantes et l'intérêt de la solution proposée.

4.2.1. Objectifs du projet d'AshakaCem

L'usine AshakaCem est située dans cette région, dans une province rurale. L'usine fait partie du groupe de cimentier français Lafarge. Elle produit du ciment à partir du calcaire qu'elle extrait de la carrière sur laquelle elle est située. Le ciment est destiné à la vente locale et sur le territoire national.

La population locale vit du travail de la terre, essentiellement des cultures annuelles de céréales pour sa consommation propre. Il n'y a pas d'accès au marché global et donc que peu de sources de revenus possibles dans la région, et la sécurité alimentaire n'est pas garantie. La figure 4.1 illustre le paysage et type d'agriculture de la région d'AshakaCem, ainsi que l'usine elle-même.



Figure 4.1: a) Mil récolté et regroupé, b) Usine d'AshakaCem (source: photos personnelles, 01.2007)

La production de ciment à partir du calcaire nécessite beaucoup d'énergie thermique et électrique. L'usine importe de grandes quantités de pétrole¹ pour les fours ainsi que du diesel pour les machines et les générateurs d'électricité. Elle achète également une grande partie de son électricité à la compagnie nationale nigériane (PHCN).

L'entreprise doit régulièrement faire face à des problèmes de sécurité avec la population locale qui s'insurge et attend de la part d'AshakaCem d'apporter le progrès et le développement dans cette région. C'est pourquoi l'entreprise cherche à améliorer ses relations avec cette population locale afin de vivre en harmonie avec elle et contribuer à son développement durable. Jusqu'en 2007, l'entreprise AshakaCem a vécu dans une relation paternaliste avec la population locale. Cette dernière voit dans l'usine une source de richesses et sa seule source de soutien économique possible. L'entreprise a ainsi depuis de nombreuses années cherché à redistribuer une partie des revenus de son activité et participé au développement local par son programme "community development". Elle a répondu aux demandes de la population en construisant des écoles, électrifiant des villages, ayant des programmes de sensibilisation au VIH/SIDA ou en leur apportant l'eau courante. Cependant, ce type d'aide a atteint ses limites. En effet, l'entreprise s'est rendue compte que cela ne suffit pas pour aider la population à se développer et au contraire la rend dépendante d'aides ponctuelles sans perspectives sur le long terme.

Au vu de cette situation, qui n'est pas un cas isolé, Lafarge a cherché à développer une nouvelle stratégie qui puisse être plus efficace et reproductible dans des contextes similaires. L'idée d'utiliser les concepts d'écologie industrielle a ainsi émergé de discussions entre M. Reynald Evangelista, alors responsable du développement durable de Dagrif, et M. Dominique Bernard, directeur Ecologie Industrielle de Lafarge. Ils ont ainsi imaginé comment une usine productrice de ciment pourrait créer des liens avec l'activité agricole alentour, en vue de fournir une source de revenus à la population locale, et ainsi intégrer son activité dans une perspective d'écologie industrielle tout en participant au développement local. L'idée est donc venue de créer des échanges de matières entre l'usine d'AshakaCem et la population locale avec pour objectifs de réduire globalement les impacts environnementaux, diversifier les sources d'énergies pour la production de ciment tout en diminuant les coûts et en créant une nouvelle dynamique de développement local basé sur le partenariat et non plus le paternalisme.

Une première étude prospective a ainsi été lancée en 2007, suivie par une étude de faisabilité en 2008 pour évaluer le potentiel et la faisabilité du remplacement d'une partie du pétrole utilisé pour le chauffage du four de la cimenterie par de la biomasse ou un agrocarburant produit par la population locale. Les résultats de cette étude sont présentés

¹ Il s'agit de LPFO, un sous-produit du pétrole. Ce produit est extrêmement visqueux et s'apparente à du coke de pétrole.

dans ce chapitre. Une première année-test a eu lieu en 2009 avec un petit nombre d'agriculteurs et a donné des résultats très prometteurs.

L'idée de départ était d'utiliser les déchets de l'agriculture (paille, tiges, etc.) comme combustible pour l'usine. Cependant la première mission de terrain a déterminé qu'il n'y avait pas de déchet agricole utilisable et qu'une culture dédiée serait donc nécessaire. En effet, l'agriculture de subsistance effectuée au nord du Nigéria ne laisse pas de déchet inexploité. Dans une logique de survie, chaque matière est valorisée. Ainsi les sous-produits agricoles tels que la paille sont utilisés soit pour l'artisanat soit comme fourrage pour le bétail. Au final, ils retournent à la terre de laquelle ils ont été extraits afin de boucler le cycle de la matière. Ainsi, en étant strict sur le vocabulaire employé tel que décrit au chapitre 3, nous ne pouvons pas exactement parler d'une Symbiose Industrielle car le flux de matière échangé n'est pas un déchet, mais bien un nouveau produit élaboré dans le but de cet échange. Cependant, cet échange s'apparente à une Symbiose Industrielle dans le sens qu'une nouvelle relation de confiance est créée entre deux partenaires, basée sur un échange de matière, et a pour conséquence la création d'un réseau et d'une nouvelle dynamique locale.

4.2.2. Contexte du Nigéria et de la région d'AshakaCem

Le Nigéria est le pays le plus peuplé d'Afrique (138 millions de personnes en 2008, soit 15% de la population africaine) [Lefort 2009]. C'est aussi l'un des pays les plus riches, grâce au pétrole, au gaz naturel et aux autres ressources du sous-sol [Turbergue 1988]. Ce pays côtier d'Afrique de l'Ouest est constitué au Sud d'une région tropicale dont la prospérité est liée aux nombreuses ressources en pétrole et à la présence de nombreux ports. Le Nord du pays fait partie de l'Afrique de l'Ouest continentale, sahélienne. Il possède peu de ressources, peu d'infrastructures et son économie est basée sur l'agriculture de subsistance. La figure 4.2 illustre la position géographique du Nigéria en Afrique et la position de l'Etat de Gombé où se situe l'usine d'AshakaCem.

Population et religion

Le Nigéria est formé de nombreux groupes ethniques. Parmi eux, trois groupes sont aujourd'hui dominants et souvent rivaux: les Haoussa, les Yorouba et les Ibo.

Les Haoussa sont issus des grands empires soudaniens et peuplent le nord du pays. Ils sont fortement attachés à l'islam et sont restés rebelles aux influences occidentales. Les Yorouba sont un peuple urbain du sud-ouest du pays. Les Ibo sont principalement au sud-est du pays, dans la zone recelant la majorité des ressources en pétrole. Cependant depuis la fin de la guerre du Biafra (1970), ils se sont dispersés dans tout le pays [Turbergue 1988].

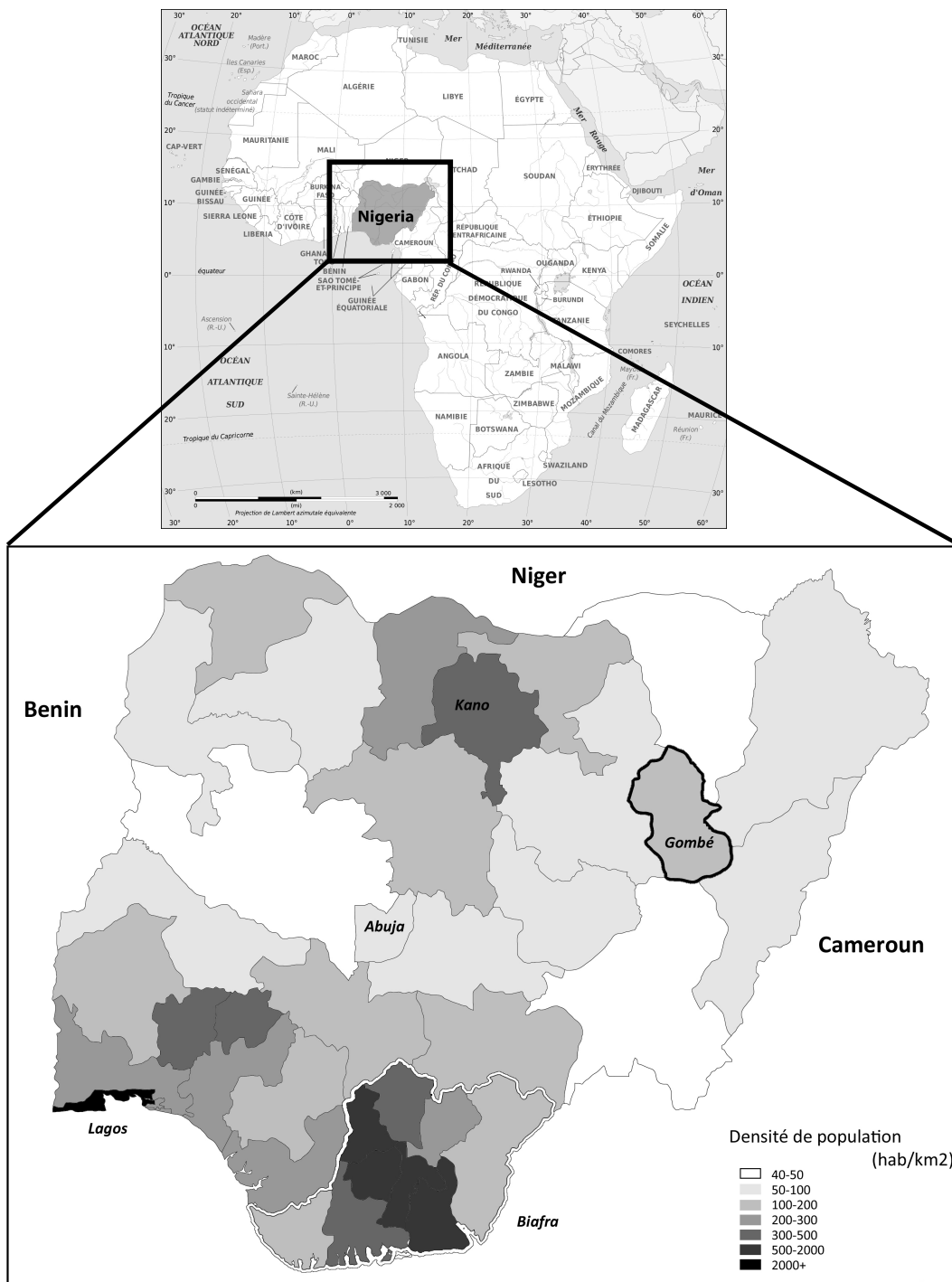


Figure 4.2: a) Carte politique de l'Afrique (retravaillé de [Gaba 2008])
 (b) Etats du Nigéria par densité de population, avec localisation de l'état de Gombé et des principales régions qui nous concernent. (retravaillée de [Wikimedia commons 2009])

Population et religion

Le Nigéria est formé de nombreux groupes ethniques. Parmi eux, trois groupes sont aujourd'hui dominants et souvent rivaux: les Haoussa, les Yorouba et les Ibo.

Les Haoussa sont issus des grands empires soudaniens et peuplent le nord du pays. Ils sont fortement attachés à l'islam et sont restés rebelles aux influences occidentales. Les Yoruba sont un peuple urbain du sud-ouest du pays. Les Ibo sont principalement au sud-est du pays, dans la zone recelant la majorité des ressources en pétrole. Cependant depuis la fin de la guerre du Biafra (1970), ils se sont dispersés dans tout le pays [Turbergue 1988].

Yorubas et Ibo sont de confession chrétienne. La division entre chrétiens (au Sud) et musulmans (au Nord) est aussi importante politiquement que religieusement et correspond à des mentalités et à des cultures radicalement différentes. L'intégrisme musulman prend de l'ampleur ces dernières années avec l'instauration progressive de la charia (loi islamique) dans plusieurs Etats du Nord du Nigéria depuis les années 2000. Les relations entre chrétiens et musulmans, mais également entre habitants du Nord et du Sud sont de manière générale très tendues.

Au niveau de la densité de population, le Nigéria a subi une croissance très importante à la fin du 20^{ème} siècle. On comptait environ 80-90 personnes par km² au Nigéria dans les années 1980 [Turbergue 1988], mais 150 en 2008 [Lefort 2009], comme nous pouvons le voir en Figure 4.2. En 1980, le pays comptait 26 villes de plus de 100'000 habitants. Au Sud se trouvent notamment Lagos et Port Harcourt, alors qu'au Nord sont Kano et Zaria. La capitale, Abuja, se trouve au centre du territoire et a été créée de toute pièce en 1983 dans le but de ne pas favoriser une ethnie ou l'autre.

Histoire et politique

Le Nigéria a connu une histoire récente plutôt mouvementée, liée en particulier à la diversité des groupes ethniques présents sur le territoire et la disparité d'accès aux ressources.

Les côtes du Nigéria ont été occupées dès le 16^{ème} siècle par les colons portugais puis anglais. Dès le 19^{ème} siècle, ces derniers profitent de leurs comptoirs pour développer l'exploitation du bois et de l'huile de palme ainsi que l'esclavagisme. Au 20^{ème} siècle, ils envahissent également le nord du pays [Jodra 2006]. Dans les années 1950, ils mettent en place un système fédéraliste dans le but de se retirer lentement et faire place à l'indépendance du pays. En 1958, de premiers gisements de pétrole sont découverts à Port Harcourt.

A son indépendance en 1960, le Nigéria a adopté une organisation fédérale. Cependant, les tensions entre les différents groupes de populations sont restées très importantes et toute l'histoire contemporaine du Nigeria est dominée par les rivalités entre Haoussa, Yorouba et Ibo. Les oppositions, attisées par la volonté de contrôler la manne pétrolière sont la cause d'une violence chronique qui dure depuis plus de quarante ans [Jodra 2006].

En 1967, la région du sud-est, peuplée de Ibo proclame son indépendance et crée la République indépendante du Biafra. Il s'ensuit une terrible guerre civile largement outillée par les pays du nord et qui fera 1,5 million de morts. En 1970, la région est réintégrée au territoire nigérian. Le Nigeria restera longtemps traumatisé par cette terrible guerre civile.

Alors qu'une vraie politique de réconciliation nationale aurait dû s'imposer, l'instabilité a continué de régner, les coups d'Etat succédant aux assassinats de dirigeants et le pouvoir alternant entre les civils et l'armée [Turbergue 1988].

Entre 1960 et 1970, le pays vit une croissance économique importante grâce aux revenus du pétrole. La crise pétrolière des années 1970 plonge le pays dans une situation difficile. Les réserves monétaires accumulées sont vite épuisées et les plans de développement doivent être révisés voire reportés.

S'ensuivent alors plusieurs régimes militaires au cours des années 1970, 1980 et 1990 qui sont très autoritaires et cherchent à relancer le développement du pays par des séries de mesures radicales basées sur une politique d'austérité. Elles tendent notamment à faire reculer la corruption, la fraude, le marché noir et l'évasion fiscale. La liberté de la presse est également réglementée. Les frontières sont momentanément fermées, les importations de biens de consommation sont contingentées et les investissements étrangers sont limités de manière à ne pas dépasser 40% des capitaux [Turbergue 1988]. Mais ceci ne suffit pas à donner un cadre transparent à la gestion des revenus du pétrole.

La découverte du pétrole a profondément modifié les équilibres du pays. Il représente actuellement 95% des exportations. Les cultures de rente sur lesquelles furent bâties la prospérité des régions du Nord (arachides et coton), de l'Est (palmistes et caoutchouc) et de l'Ouest (cacao) ont cessé d'être l'importante source de devises qu'elles étaient jusqu'à la veille de la guerre civile. La contribution de l'agriculture au P.I.B. est passée de 55% à 20% entre 1968 et 1980 [Bach 2009a].

En 2002, le secteur des hydrocarbures continue de tirer l'activité économique du pays. Aucun autre domaine n'attire les investissements étrangers. En 2003, le désordre régnant dans le secteur de l'exploitation pétrolière hypothèque les perspectives d'avenir. Les revenus des hydrocarbures n'empêchent pas les deux tiers de la population de vivre en dessous du seuil de pauvreté. En 2004, l'envolée des prix du pétrole, dont le pays est le premier exportateur africain, permet au gouvernement d'engager un nouveau programme d'infrastructures : circuits de distribution de l'eau et de l'électricité et construction de routes. Le mécontentement social est toutefois vif. La corruption demeure un fléau [Bach 2009b].

Actuellement, la corruption et le marché noir grèvent de manière très importante le développement du pays. De plus, le banditisme et l'existence de nombreuses douanes et barrages policiers internes sont un frein important au transport de marchandises et à la valorisation des produits dans les marchés locaux. Un climat de méfiance existe entre la population et son gouvernement ainsi qu'à l'intérieur même de la population. Il y a un grand sentiment d'injustice sur la répartition et la redistribution des richesses à l'intérieur du pays, qui entraîne régulièrement de violents affrontements entre la population et les représentants des entreprises étrangères. L'instabilité du pays est un frein important aux investissements étrangers. Dans un tel contexte, un développement est très difficile à mettre en œuvre. Les œuvres d'entraide internationales ou les ONG y sont quasiment absentes, alors qu'elles sont très présentes dans les autres pays d'Afrique de l'Ouest. Le Nord du pays, éloigné des grands

axes économiques est particulièrement défavorisé. Les populations rurales ont donc peu de moyens d'obtenir de l'aide au développement, à la formation et aux infrastructures.

Situation climatique et ressources

Cet immense territoire est constitué de plusieurs régions de climat et de ressources très différentes. La figure 4.3 illustre le type de végétation au Nigéria, largement influencée par le climat.

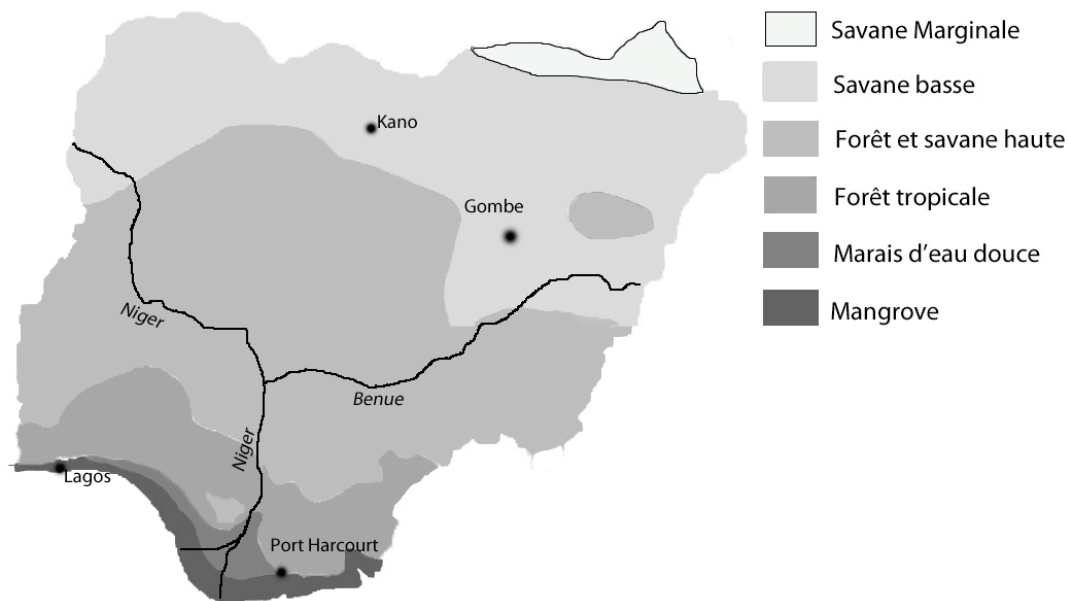


Figure 4.3: Carte de la végétation au Nigéria. Tiré de [Wikimedia commons 2009]

Au Nord, dans la région d'AshakaCem (Gombé), le climat est de régime soudanien avec une pluviométrie entre 500 et 800 mm par an, une saison des pluies très courte et peu abondante. Le sol y est aride, sablonneux et la maigre végétation de type sahélienne, steppe desséchée ou savane arbustive. Ces dernières décennies, la pression démographique et les besoins accrus en énergie ont eu raison des arbres qui couvraient ces régions, protégeaient le sol et abritaient les animaux sauvages.

Ce climat évolue graduellement lorsqu'on va vers le Sud jusqu'à arriver à un régime équatorial avec une pluviométrie supérieure à 2000 mm par an et des pluies continues tout au long de l'année. On y trouve une forêt pluviale dense et difficilement pénétrable, et le long du littoral une zone marécageuse d'eau douce suivie de mangrove [Turbergue 1988]. Cette zone est riche en ressources du sous-sol (pétrole, gaz naturel) mais également en bois et huile de palme (notamment).

L'activité industrielle du pays est par conséquent surtout concentrée au Sud. Le Nord du pays vit surtout de l'élevage et de l'agriculture de subsistance. La population est très rurale et généralement pauvre, ayant peu de ressources à exploiter. Le Sud exploite les ressources du sous-sol, mais les richesses qu'elles fournissent sont très peu redistribuées, et la pauvreté y

est également importante. Comme nous pouvons facilement l'imaginer, cette disparité de répartition des ressources est la cause d'importantes tensions à l'intérieur du pays.

Tissu économique et industriel au nord du Nigéria

Le nord du Nigéria est essentiellement agricole. On y vit de l'agriculture de subsistance, mais également de cultures d'exportation. La ville de Kano est la ville principale (cf. Figure 4.3).

Un petit tissu industriel s'y est développé dans le dernier quart du XX^e siècle : matériaux de construction, sidérurgie, métallurgie, constructions automobiles, caoutchouc, textiles, produits pharmaceutiques [Vennetier 2009]. Cependant, ces industries sont souvent de petite taille et les infrastructures relativement vétustes.

L'artisanat reste important : tissage, teinture, poterie, tannage. Kano, outre ses fonctions administratives, est avant tout une place commerciale assurant la collecte des produits agricoles à destination de Lagos (coton, oléagineux) ainsi qu'un centre religieux islamique important [Vennetier 2009].

La figure 4.4 illustre la répartition des activités économiques au Nigéria en 1979. Nous y voyons que l'activité industrielle a surtout lieu au Sud du pays, alors que l'agriculture est plutôt au Nord du pays. Il semble que cette différence se soit renforcée depuis. Le marché et la production du coton ont par ailleurs disparu, et n'ont pas été remplacés par d'autres cultures de rente. Les populations rurales ont ainsi de moins en moins accès au marché global.

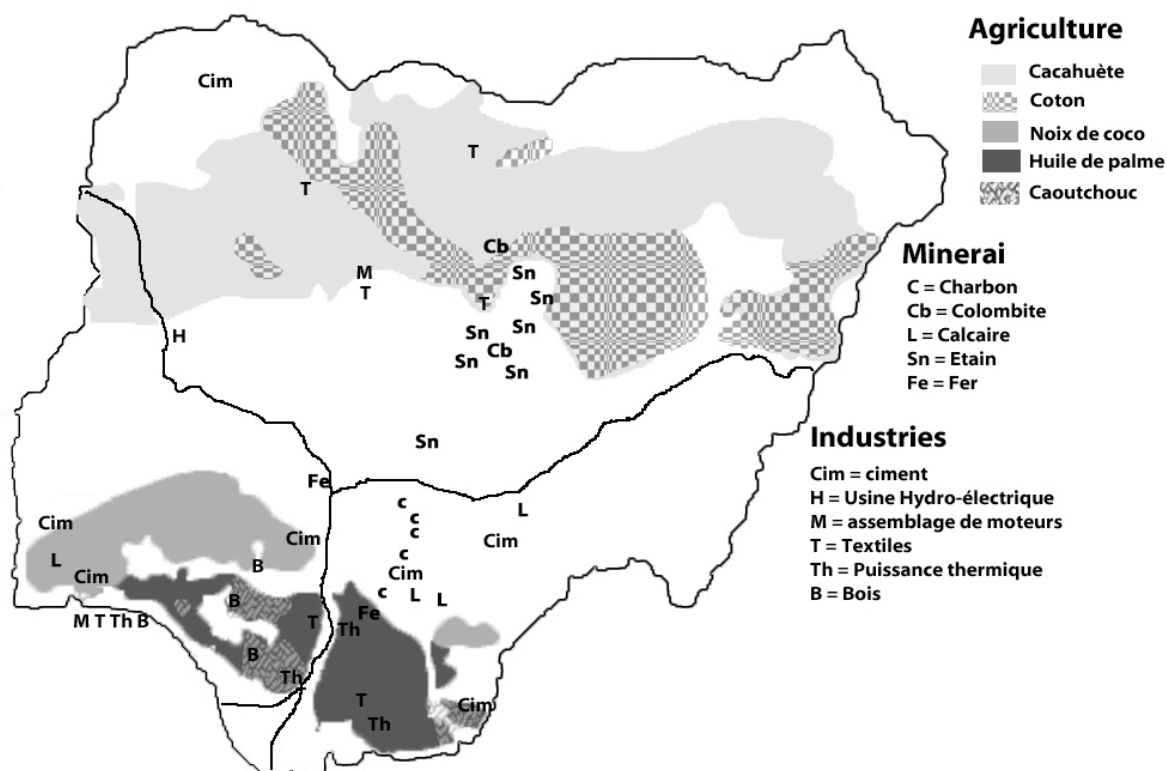


Figure 4.4: Carte des activités économiques au Nigéria (1979) [Wikimedia commons 2009]

4.2.3. Lafarge

Cette partie présente le producteur de ciment Lafarge, tel qu'il se décrit dans les documents officiels. L'objectif est de donner une vision générale de la philosophie de l'entreprise en ce qui concerne le développement durable et son implication en Afrique. Ceci permettra de mieux comprendre l'intérêt du projet qui est envisagé au Nord du Nigéria, ainsi que sa valeur d'exemple à reproduire.

Producteur de ciment

Le groupe français Lafarge est l'un des trois premiers producteurs de ciment au niveau mondial. Il est présent dans 78 pays et a eu un chiffre d'affaires annuel de 16 milliards d'Euros en 2009. Créé en 1833, son activité principale est la production de ciment. Le groupe emploie environ 78'000 personnes dans le monde [Lafarge group 2010].

Le groupe Lafarge a une longue tradition d'engagement en faveur de l'environnement et du développement durable, à travers son engagement dans des partenariats avec des ONG environnementales ou de compétences sociales. Le groupe est certifié ISO 14001, est membre du WBCSD², et de son groupe des cimentiers CSI³ qui regroupe les principaux producteurs de ciment sur les questions de développement durable.

Dans le cadre de son partenariat avec le WWF, Lafarge s'est fixé comme objectif de réduire entre 1990 et 2010 de 10% ses émissions brutes de CO₂ dans les pays industrialisés et de 20% ses émissions de CO₂ nettes par tonne de ciment produit dans le monde [Lafarge group 2009e, 2009d]. Pour réduire ses émissions de CO₂, Lafarge bénéficie de trois leviers; outre l'amélioration de l'efficacité énergétique de ses fours, responsable de 20% de la baisse des émissions à fin 2007, deux autres sont directement inspirés du principe d'écologie industrielle:

- l'utilisation de la biomasse et des déchets comme combustibles alternatifs dans les cimenteries du Groupe, qui représente 30% de la baisse des émissions ;
- la valorisation de résidus de production d'autres industries comme ajouts cimentaires, ou matières premières de substitution, qui a permis environ 50% des réductions des émissions de CO₂ du Groupe depuis 1990.

Le projet de substitution énergétique au Nigéria s'inscrit justement dans le deuxième levier d'action pour réduire les émissions de CO₂.

² World Business Council for Sustainable Development = Conseil mondial des entreprises pour le développement durable.

³ Cement Sustainability Initiative

Lafarge en Afrique

Le groupe Lafarge est présent en Afrique sub-saharienne depuis 1985, c'est-à-dire assez récemment. Entre 1980 et 1990, Lafarge était présent dans cinq pays d'Afrique⁴. En 2001, Lafarge a racheté l'entreprise Blue Circle et ainsi étendu sa présence dans cinq nouveaux pays⁵, dont l'usine d'AshakaCem au Nord du Nigéria.

L'activité du groupe Lafarge en Afrique sub-saharienne représente actuellement [Lafarge group 2007c] :

- 11 millions de tonnes de capacités cimentières,
- 7'700 employés,
- 10 % du chiffre d'affaires et 12 % du résultat d'exploitation du Groupe.

Dans certains pays d'Afrique sub-saharienne, l'alimentation des usines en électricité et en combustibles pose régulièrement problème. Lafarge développe donc des programmes de valorisation des déchets industriels ou agricoles, utilisés comme combustibles de substitution [Lafarge group 2008].

Les biocombustibles en Afrique et Pacifique

La question de l'approvisionnement en énergie combustible ou électrique est un problème récurrent en Afrique (et dans d'autres pays en développement également). Que ce soit pour des raisons de disponibilité (centrale hydroélectrique asséchée p. ex) ou d'accès à la ressource (mauvais état des routes et brigandage), une continuité de livraison est parfois difficile à garantir. Ce problème général est source de nombreuses innovations locales dans le domaine énergétique: utilisation de combustibles de substitution (biomasse ou déchets industriels), utilisation d'énergies renouvelables (éoliennes), etc.

Les usines productrices de ciment se trouvent généralement à l'écart des zones fortement urbanisées, soit proches de régions agricoles. C'est donc en toute logique que plusieurs cimenteries du groupe ont imaginé créer des relations d'échange de matière avec des partenaires industriels agro-alimentaires afin de diversifier leurs sources d'énergie et s'assurer une production constante. Plusieurs expériences réalisées avec succès peuvent être mentionnées:

- En Ouganda: valorisation énergétique des coques de café. Après la récolte et le séchage, les grains de café sont séparés de leur coque. L'important volume des coques de café résultant de ce processus est ensuite mis en décharge ou utilisé comme fertilisant par les fermiers. L'usine Lafarge a décidé d'utiliser les coques de café excédentaires comme source de combustible alternatif, ce qui a permis de réduire de 30 % la consommation en combustible fossile [Lafarge group 2009b].
- En Malaisie: valorisation énergétique de déchets de production d'huile de palme. Les déchets de la production d'huile de palme, constitués notamment de la coque de l'amande, posent un problème d'élimination aux producteurs. En effet, les coques sont

⁴ Cameroun, Kenya, Afrique du Sud, Ouganda et Bénin

⁵ Zimbabwe, Tanzanie, Malawi, Nigéria et Zambie

traditionnellement mises en décharge ou brûlées sans aucune valorisation énergétique. Lafarge Cement a décidé d'utiliser les coques de l'amande du palmier comme combustible pour le préchauffage des matières premières. Cette substitution permet de valoriser les coques à raison de 10 % de la consommation énergétique des cimenteries [Lafarge group 2009a].

- Aux Philippines: valorisation énergétique de balles de riz. Après la récolte, le grain de riz est séparé de son enveloppe, la balle. Il en résulte un volume important de balles, généralement brûlées à l'air libre, dont la valeur énergétique reste inexploitée. Lafarge a décidé de valoriser l'énergie des balles de riz dans le sécheur rotatif. Ce procédé permet de substituer les balles de riz au combustible fossile à hauteur de 35 % [Lafarge group 2009c].

Dans toutes les expériences présentées ci-dessus, le groupe Lafarge a participé à des échanges de flux de matière entre partenaires industriels en valorisant des déchets ou des sous-produits agricoles et industriels. Il montre ainsi que la valorisation de biocombustible dans les pays en développement peut-être intéressante pour les différents partenaires. Le projet mis en place à AshakaCem initie un nouveau type de projet avec comme partenaire la population locale et non pas un partenaire industriel. Si cette expérience porte des fruits, elle pourrait être un modèle pour une nouvelle gestion des relations entre les usines de Lafarge et les populations locales.

4.2.4. Exploitation de cette étude de cas à des fins méthodologiques

L'observation de la mise en place d'un nouvel échange de matière entre une usine de ciment et la population d'une zone rurale du nord-Nigéria permet d'illustrer différents aspects des Symbioses Agro-Industrielles en Afrique de l'Ouest. En particulier nous nous intéressons ici à l'utilisation de ces concepts par l'industrie et aux changements qu'ils impliquent dans les relations entre elle et la population locale. Cette étude me permet ainsi d'identifier les contraintes sociales, économiques, institutionnelles, culturelles et logistiques ainsi que des clés de mise en œuvre des Symbioses Industrielles dans le contexte précis d'un pays en développement d'Afrique de l'Ouest. La mise en place d'un tel projet est dictée par des contraintes locales et permet le développement de nouveaux outils modernes pour la bonne gestion des liens communautaires d'une entreprise avec sa population locale. Le concept de Symbiose Agro-Industrielle est une opportunité pour le développement régional autour de la cimenterie. Et inversement, ce projet est une opportunité pour l'élargissement de l'utilisation des concepts de Symbiose Industrielle et une plus grande compréhension des facteurs de succès de leur réalisation.

Mais un tel projet comporte également des freins à la réalisation. La création d'une Symbiose Industrielle entre un partenaire industriel et de multiples partenaires civils ouvre la porte à de nouvelles perspectives, mais n'est pas sans demander de gros efforts de part et d'autre. Un tel projet nécessite un investissement humain de la part de l'entreprise concernée

dans un domaine de compétences qui n'est pas le sien. Cela peut donc être un des facteurs limitant. Il est ainsi particulièrement intéressant de pouvoir observer ce processus de mise en place et d'identifier une procédure reproductible pour des situations similaires.

La partie 4.3 présente le cadre des flux de matières de la cimenterie et de la région à partir desquels la Symbiose Industrielle est envisagée. La partie 4.4 présente les détails du projet d'AshakaCem, ainsi que les différentes étapes de mise en œuvre réalisées par Lafarge. La partie 4.5 présentera une première analyse des éléments importants dans la compréhension de ce projet.

L'évaluation d'un tel projet est bien entendu nécessaire. L'entreprise possède ses propres indicateurs de succès, qui lui permettent de décider de la poursuite du programme ou des modifications nécessaires. Les termes concernent autant bien les financements que les impacts environnementaux et sociaux, du point de vue de l'entreprise. Cependant, le partenaire n'étant pas un industriel, il n'est pas organisé pour évaluer l'atteinte d'objectifs de son point de vue. Afin de proposer des pistes et pallier à ce manque, une évaluation environnementale du projet sera réalisée au chapitre 5 et une adaptation de cette évaluation dans une perspective de développement durable sera proposée aux chapitres 6 et 7. Les perspectives de l'évaluation et de la reproduction du projet seront abordées au chapitre 8.

4.3. Planification et réalisation du projet d'AshakaCem

4.3.1. Chronologie du projet

La réalisation du projet de Symbiose Industrielle d'AshakaCem se fait en plusieurs étapes, au cours desquelles les objectifs du projet sont révisés et adaptés:

- Opportunity study, janvier – mars 2007
- Feasability study, janvier 2008
- Première phase du projet pilote, fin 2008 – fin 2009
- Deuxième phase du projet pilote, début 2010
- Phase de croissance de la production, à prévoir courant 2011

La première phase a été une mission prospective d'exploration sur le terrain et d'identification des objectifs principaux [Giraudy *et al.* 2007]. Elle est nommée "opportunity study", étude d'opportunité. Cette phase a réuni un expert d'écologie industrielle ainsi qu'un ingénieur agronome qui ont réalisé des entretiens avec des personnes de la population locale et de l'entreprise. Une analyse des flux de matières de la cimenterie a été établie sur la base du rapport annuel (interne) de l'usine, d'observations visuelles et de questionnaires aux personnes compétentes. En parallèle, la population de la région a été rencontrée. Des entretiens semi-directifs avec les groupements de paysans et les autorités locales ont permis d'avoir une première idée du contexte, des terrains et moyens disponibles et des problèmes rencontrés au jour le jour. Une analyse des flux de matière régionale formelle n'a pas été menée, l'entreprise ayant déjà décidé du type d'échange qu'elle souhaitait

réaliser. Cependant, les entretiens ont permis de déterminer le potentiel de production de la région et d'estimer la surface de culture et le nombre de paysans nécessaires. Des membres de l'université de Zaria⁶ et des ministères de l'agriculture ont également été rencontrés afin de connaître les recherches agronomiques locales actuellement en cours et identifier les plantes potentiellement intéressantes. Sur ces bases, le potentiel de production de bioénergie a été évalué et quelques pistes d'échanges de matières potentielles pour la production d'énergie thermique ont été proposées ainsi qu'un premier schéma de réalisation pratique (planning temporel et financier sommaire). Cette première partie a ensuite été présentée aux dirigeants de Lafarge et d'AshakaCem qui ont donné leur accord pour la poursuite du travail. Une première recherche des partenaires potentiels a permis de déterminer que la région est très pauvre en ONG internationales et autres aides au développement. Un potentiel pour obtenir un financement MDP du protocole de Kyoto est identifié, mais la méthodologie adéquate n'existe pas encore et doit donc être établie.

La seconde phase est l'étude de faisabilité, qui a été lancée en janvier 2008 [Giraudy *et al.* 2008]. Sur la base des scénarios envisagés, une étude menée en partie sur le terrain par un ingénieur agronome, secondé par plusieurs personnes-ressources fait une première sélection du type d'échange à réaliser, des plantes à cultiver et la manière de le faire, identifie spécifiquement les investissements nécessaires, les surfaces concernées, les accompagnements techniques et logistiques à mettre en place, les ajustements techniques et industriels et planifie tout ceci dans le temps. Les résultats de l'étude de faisabilité ont été présentés en octobre 2008 au conseil d'administration d'AshakaCem pour approbation et pour lancer la première phase pratique. L'écho a été très positif. Malgré cela, plusieurs autres projets très importants sont également en cours et prennent du retard : remplacement d'une tour de préchauffage, achat d'une mine de charbon pour remplacer le fuel lourd utilisé, ... De nouveaux investissements pour de nouveaux projets ne peuvent donc pas être envisagés à court terme. Ainsi, la première phase pratique peut commencer car elle ne nécessite presque aucun investissement. Mais certaines parties du projet sont mises en attente, notamment la mise en place d'une huilerie et l'adaptation des infrastructures du four pour l'injection de nouveaux combustibles [Bernard 2008].

La première phase du projet-pilote consiste à lancer le projet à petite échelle, avec pour objectif d'adapter les stratégies prévues à la réalité du terrain et de former un petit groupe pilote d'agriculteurs aux techniques adéquates qui servira de groupe témoin. Un gestionnaire de projet est engagé afin de mettre tout en place. Une ferme de test et production de semences est mise en place et permet par la même occasion de réhabiliter l'espace de la carrière qui n'est plus exploité. Différentes semences des plantes sélectionnées sont testées et reproduites. Ce projet-pilote a fait l'objet d'un premier rapport annuel très positif [Giraudy 2010]. Il a permis de réorienter les objectifs avec l'évolution des besoins d'AshakaCem. En effet, il était initialement prévu de produire de la biomasse (herbes hautes par exemple) pour

⁶ Ville à 500 km d'AshakaCem, dont l'université est assez active dans la recherche agronomique.

la brûler dans le four. Cependant les travaux sur la tour de préchauffage ayant été interrompus avant la fin, il n'existe pas actuellement de dispositif qui permet d'insérer cette biomasse dans le four. La solution de produire de l'huile de Jatropha, qui avait dans un premier temps été mise entre parenthèse car elle semblait trop coûteuse (la mise en place d'une huilerie en particulier) est donc à nouveau envisagée dans un horizon de trois à quatre ans (voir discussion détaillée du chapitre 4.4.3). Malgré ces freins à la réalisation, le projet poursuit son programme de réalisation. La mise en danger de la sécurité de l'usine et de ses alentours par les violences de la population locale est très difficile à chiffrer en termes financiers. Cependant, il est tellement important pour les dirigeants de régler ce problème et les premiers résultats sont tellement encourageants au niveau social que le projet va pouvoir continuer de se réaliser. La définition des prochaines étapes est actuellement en cours.

J'ai personnellement participé à l'étude d'opportunité en 2007. J'ai par la suite pu suivre l'évolution du projet à partir des rapports fournis par Lafarge et des contacts avec les responsables du dimensionnement du projet au sein de Lafarge-écologie industrielle et Eco-carbone.

4.3.2. Analyse des flux de matières de la cimenterie

Afin de déterminer les objectifs du projet, d'identifier les besoins et potentiels de la région, j'ai réalisé une analyse des flux de matière (AFM) de la cimenterie lors de l'étude d'opportunité en 2007 et la présente ci-dessous. Pour bien comprendre et identifier tous les flux, la production est décrite de manière globale ci-dessous.

L'AFM réalisée est tirée du rapport annuel de l'usine et de l'observation sur le terrain. Cependant, comme c'est généralement le cas, tous les flux de matière ne sont pas répertoriés dans de tels rapports. Il est donc nécessaire de compléter ces chiffres par des chiffres génériques que nous pouvons obtenir dans une base de données d'inventaire, ce qui permet d'avoir une vision complète des flux engendrés.

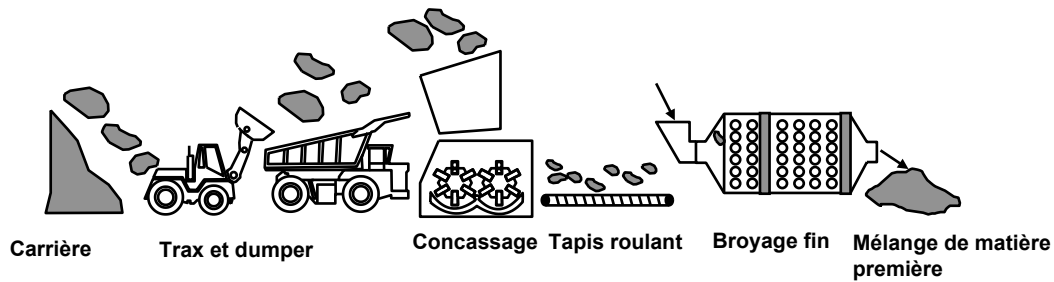
La production de ciment

Le ciment est une matière utilisée dans la construction. C'est une poudre que l'on mélange avec de l'eau pour faire une pâte, que l'on peut également mélanger avec du gravier pour faire du béton. Ce mélange durcit par réaction chimique et incorporation d'eau.

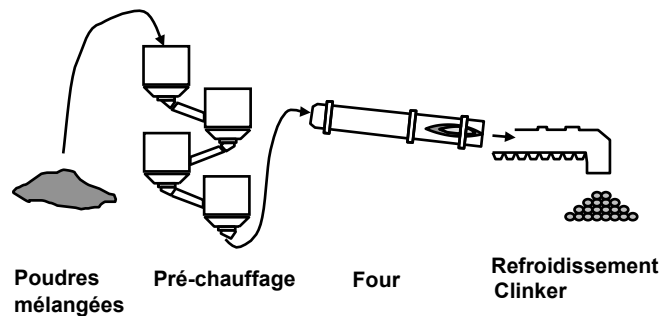
Le ciment peut être produit par voie sèche (80% des cas) ou par voie humide (technique plus ancienne qui tend à être abandonnée). La production de ciment dans l'usine d'AshakaCem se fait par voie sèche et passe par trois étapes :

- Tout d'abord l'extraction du calcaire et des autres matières premières (argile contenant de la silice, de l'alumine et du fer, et si nécessaire des quantités supplémentaires d'oxydes de fer et d'aluminium) ainsi que leur broyage en proportions adaptées (broyage

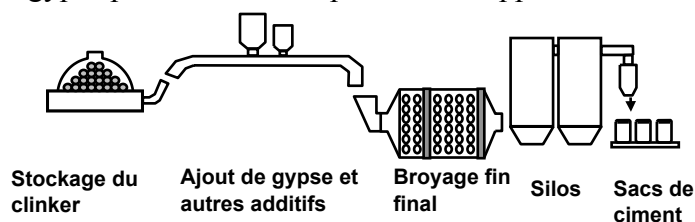
grossier puis broyage plus fin pour atteindre des particules de quelques micromètres de diamètre).



- En seconde partie, ce mélange de poudres est chauffé à haute température afin de se transformer par réaction chimique en clinker. Pour ce faire la poudre est lâchée du haut d'une tour de préchauffage, ce qui l'amène graduellement à 800°C. De là, la matière passe dans un long four tournant en pente faible, ce qui l'amène aux alentours de 1500°C. Le calcaire et ses ajouts se transforment alors chimiquement et deviennent clinker.



- La matière est ensuite rapidement refroidie et donne des galets de clinker. Ceux-ci sont broyés avec du gypse pour obtenir une poudre fine appelée ciment.



Ciment et écologie industrielle

Cette activité de production nécessite de grandes quantités d'énergie. En particulier du pétrole est nécessaire pour les machines d'extraction de la matière (qui est extraite grâce à des explosifs), de l'électricité est consommée pour le transport de la matière sur rouleaux et surtout pour le broyage et la rotation du four. De l'énergie thermique est également nécessaire de manière importante pour le chauffage de la matière. Celle-ci est fournie par combustion de pétrole ou charbon par exemple, mais également de déchets comme les pneus ou toute matière calorifique adéquate, ce qui permet à cette industrie d'être un acteur

important de la mise en place des concepts de l'écologie industrielle [van Oss and Padovani 2002].

Le ciment étant en majeure partie produit à partir de calcaire qui est une matière première très lourde, les usines de ciment sont généralement situées très proches des carrières afin d'éviter du transport inutile. Il est donc nécessaire d'importer l'énergie qui ne se trouve souvent pas à proximité. Pour les mêmes raisons, le ciment est généralement vendu dans un rayon régional afin de réduire les coûts de transport.

Globalement, les coûts relatifs de production du ciment sont répartis comme suit : énergie 31 %, matières premières et consommables 28 %, coûts de production et d'entretien 30 %, et amortissements 11 % [Lafarge group 2007b].

La production de ciment est souvent encore perçue comme un secteur industriel très polluant, produisant de grandes quantités de poussières et de CO₂, et consommant de grandes quantités d'énergie. L'écologie industrielle apporte une perspective très intéressante à ce sujet. En effet une des clés qu'elle propose à l'épuisement et la pollution des ressources est la substitution de matière, qui permet de diminuer la consommation de ressources non renouvelables. Dominique Bernard, directeur "Ecologie Industrielle" dans le groupe Lafarge en parle dans son article de novembre 2007. Tout d'abord concernant les matières, *"on peut, par exemple, diminuer la consommation de bauxite, en tant que matière première, par l'utilisation de déchets ou de sous-produits riches en alumine [...], ou substituer des déchets aux sources naturelles de fer et de silice. [...] Dans la phase finale de broyage, il est également possible de remplacer le gypse naturel par du gypse issu de la désulfuration des gaz rejetés par les centrales de production d'électricité au charbon."* [Bernard 2007]. Ce type de substitutions sont également envisagées par la majorité des cimentiers, qui cherchent divers moyens pour diminuer les coûts de la matière première.

En ce qui concerne les combustibles, l'industrie du ciment a une longue histoire d'utilisation des déchets comme combustibles [Hashimoto *et al.* 2010] qui est souvent vue comme une possibilité de "recycler" toutes sortes de déchets pouvant poser problème [Reijnders 2007]. *"Les déchets peuvent également être employés en substitution de combustibles fossiles utilisés pour la cuisson. [...] Au nombre des combustibles utilisés dans [les] usines [Lafarge], on compte désormais des pneus, des huiles usées, des cosses de riz, de café, de tournesol, de palmier à huile, mais aussi des boues de station d'épuration, des farines animales, du bois, des déchets ménagers, des plastiques broyés, des emballages composites, des solvants, des boues de peintures, des encres et vernis ou des déchets d'hydrocarbures."* [Bernard 2007]. C'est cette perspective de substitution énergétique qui nous intéressera dans cette étude de cas.

Concernant la faisabilité technique d'une substitution de combustible, il y a quelques précautions à prendre. La composition chimique du ciment, bien que relativement flexible en termes de pourcentage de chaque composant nécessite cependant des conditions de

productions particulières. En particulier, pour une production par voie sèche, la présence d'eau peut être problématique. Ceci signifie pratiquement que les combustibles utilisés doivent contenir moins de 10% d'eau environ [Meyer 2007].

Les flux de matières d'une cimenterie

L'analyse des flux de matières de la cimenterie d'AshakaCem se base sur l'analyse du bilan financier annuel de l'usine ainsi que sur l'observation concrète et quelques entretiens avec les personnes connaissant bien l'usine et ses processus. Cependant la perception des flux de matières physiques est très différente suivant les personnes interrogées. En effet, pour donner un exemple, l'eau n'apparaît pas dans le bilan annuel des consommations, et même en interrogeant les personnes compétentes, personne n'est capable d'estimer précisément les quantités utilisées. Celles-ci ne sont pas mesurées, pas payées étant donné que l'eau est pompée dans un forage non-loin, et n'est donc pas une ressource quantifiée par les gens de l'usine. Cependant, dans un pays sub-saharien, l'eau est un bien rare, et il importe d'en avoir une gestion adéquate.

Ainsi pour avoir une vision plus générale des flux de matières et énergies participant à la production de ciment, il est bon de pouvoir se baser sur d'autres études similaires. La base de données Ecoinvent [Kellenberger *et al.* 2007] contient un inventaire détaillé des processus de production de ciment pour des usines suisses, basé sur les publications de Routschka and Granitzki [1997] et Künniger *et al.* [2001]. Les contraintes et technologies utilisées ne sont donc pas totalement identiques, mais ces données permettent tout de même de se faire une idée bien plus précise des flux en présence et d'éviter d'en oublier d'importants.

Les flux entrants sont tout d'abord composés de matières premières "solides" nécessaires à la production de ciment (calcaire, aluminates et sulfate de calcium, minerais de fer...) et provenant de roches. D'elles dépendent les propriétés mécaniques et de mise en œuvre du ciment obtenu. Il existe donc différents types de ciments ayant des propriétés différentes. Les données Ecoinvent sont une moyenne de 8 usines suisses. Les matières utilisées au nord du Nigéria et la composition des ciments produits est différente. Cependant ces données sont connues précisément pour chaque usine et donc nous pourrions nous référer à celles d'AshakaCem.

Les émissions liées à l'extraction de ces matières premières et à leur broyage sont similaires d'une usine à l'autre, mais les quantités peuvent être différentes. Il s'agit principalement de poussières, qui sont classées en 2 catégories (émissions en cheminée et émissions diffuses). Ces émissions dans l'environnement dépendent effectivement des mesures prises (type de filtre pour les cheminées, couverture des stocks clinker et capotage des bandes pour les poussières diffuses). Les poussières sont la partie la plus perceptible des pollutions d'une cimenterie avec le bruit (tirs de mines en carrières notamment).

Les émissions principales liées à la transformation chimique de production du ciment sont le CO₂, les NO_x, le SO₂, les dioxines, et certains métaux lourds qui ne seraient pas piégés dans la matrice clinker. Les quantités émises peuvent varier de manière importante entre une

usine et l'autre en fonction de la qualité du cru et du combustible, des brûleurs utilisés, du contrôle précis de la température et du traitements des fumées. Les émissions de métaux lourds volatils tels que le mercure et le thallium font en général l'objet d'une attention particulière.

D'autres flux entrants sont les énergies thermiques et électriques. Les types de combustibles principaux utilisés sont différents pour chaque usine et leur quantité dépend directement des rendements thermiques du dispositif. On sépare généralement ces énergies en énergie principale et énergies secondaires. Les énergies principales sont généralement des énergies dont l'approvisionnement est permanent (donc souvent des énergies fossiles), alors que les énergies secondaires sont des énergies complémentaires dont l'apport peut varier (déchets ménagers, pneus, biomasse, etc.) [Kellenberger *et al.* 2007]. Les énergies principales sont donc comparables pour les usines suisses ou nigérianes. Par contre les énergies secondaires vont différer de manière importante. De même, l'électricité utilisée en Suisse ou au Nigéria sont bien différentes autant en termes de sources pour la production d'énergie électrique que de technologie.

Les émissions liées à l'énergie sont directement dépendantes du type d'énergie utilisée et sont donc très différentes d'une usine à l'autre.

D'autres flux entrants viennent encore compléter ce premier bilan. Il s'agit de matières nécessaires au bon fonctionnement et à l'entretien des dispositifs et à la production du ciment : lubrifiants, liquides de refroidissement, eau,... Ces matières sont similaires pour les usines suisses ou nigérianes, bien que les quantités puissent varier selon les technologies employées. Il y a également d'autres types de flux entrants variables d'une usine à l'autre, tels que les briques réfractaires, qui peuvent représenter une quantité importante au moment de la réfection du briquetage du four.

Analyse des flux de matières pour l'usine d'AshakaCem

L'usine d'AshakaCem au nord du Nigéria produit environ 700'000 tonnes de ciment par année [AshakaCem works 2006]. L'analyse des flux de matière pour l'usine d'AshakaCem est présentée ci-dessous. Le système étudié est présenté sous sa forme détaillée et désagrégée en figure 4.5. Un tel schéma aide à comprendre le détail du processus de fabrication et à cibler les améliorations et les synergies potentielles.

Limites du système

Les limites géographiques du site de l'usine ont été considérées. Sont prises en compte:

- les matières premières et émissions liées à l'activité de l'usine sur toute l'année, en tenant compte des variations des stocks.
- Le renouvellement des consommables/outils nécessaires à l'activité de production.

Ne sont pas pris en compte dans les limites du système le renouvellement des infrastructures immobilières, des machines et véhicules.

Le bilan des flux agrégé est présenté au tableau 4.1:

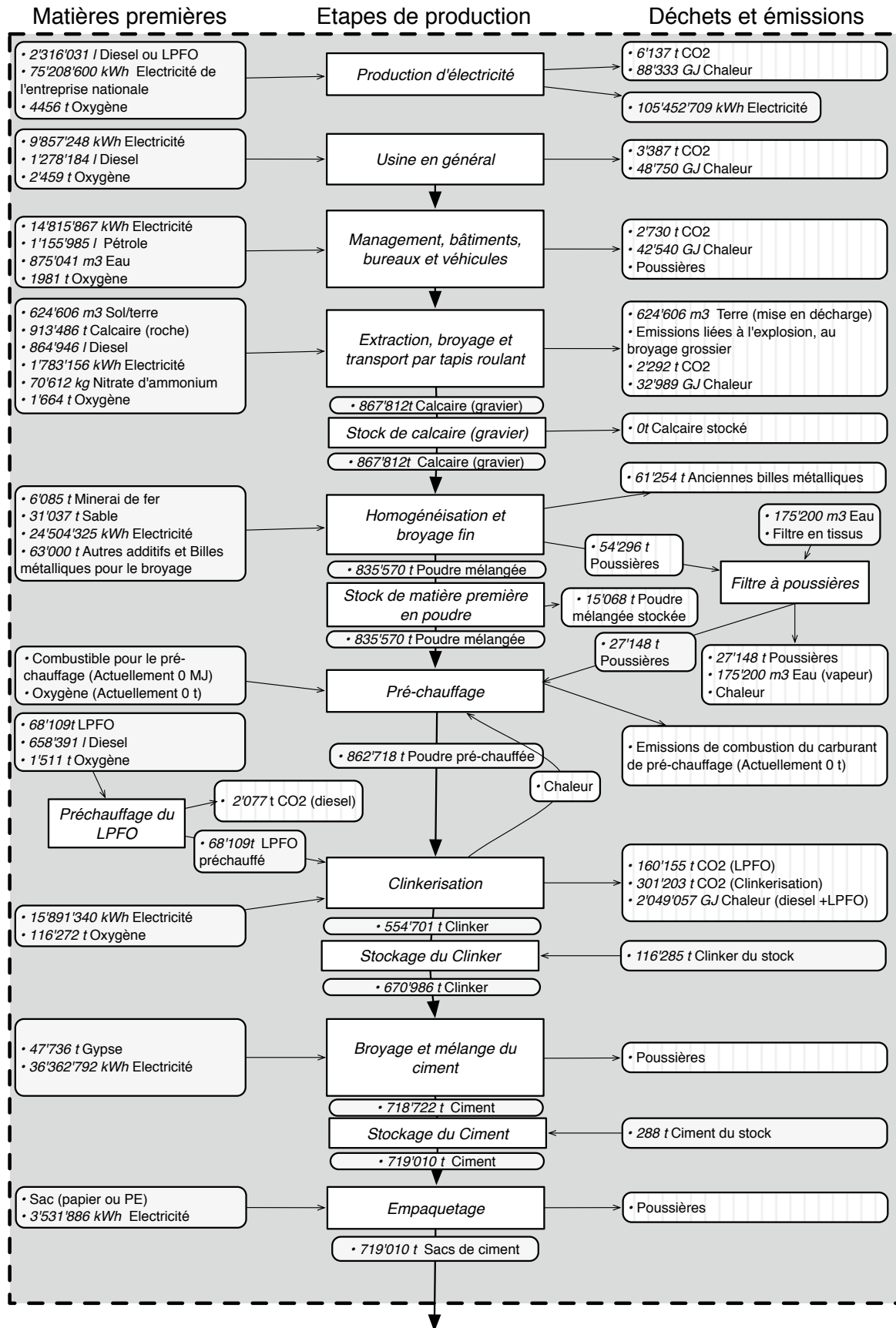


Figure 4.5: Limites du système pour l'analyse des flux de matière de l'usine de ciment, déterminées sur la base du rapport annuel de la cimenterie d'AshakaCem en 2006.

	Quantité pour 1t de clinker	Quantité pour 1t de ciment	Quantité annuelle	Unité	Matières premières	type	Source d'information	Remarques
192.44	148.52	106746613	kWh	Electricité	Entrée	Annual report, page kWh/t	Utilities	
5.05	3.90	2801521	l	Diesel	Entrée	Annual report, page Oil stocks		
2.08	1.61	1155985	l	essence	Entrée	Annual report, page Oil stocks		
0.12	0.09	68109	t	JPFO	Entrée	Annual report, page Oil stocks		
1.89	1.46	1050241	m ³	Eau	Entrée	Calculé à partir d'ordres de grandeur obtenus par oral	Autre donnée : Annual report, Ash_2006_Report_MMP = 2330296 GJ	
1.65	1.27	913486	t	Calcaire (roche)	Entrée	Calculé	2.7t/m ³ , 6.5m de profondeur et 52051m ² , pertes estimées à 5%	
1.13	0.87	624606	m ³	Terre	Entrée	Calculé	A partir de la surface de calcaire(52051m ²) et 12m profondeur	
0.13	0.10	70612	kg	Nitrate d'Amonium	Entrée	Valeur d'Ecoinvent "limestone, at mine"		
0.01	0.01	6085	t	Minerai de Fer	Entrée	Annual report, page Raw materials crushing		
0.06	0.04	31037	t	Sable	Entrée	Annual report, page Raw materials crushing		
0.09	0.07	47736	t	Gypse	Entrée	Annual report, page Gypsum		
0.21	0.16	116285	t	Clinker du stock	Entrée	Calculé	Différence ciment produit - clinker produit	
0.11	0.09	63000	t	Autres additifs (Al, ...)	Entrée	Valeur d'Ecoinvent "clinker"		
0.05	0.04	26126	kg	Huile de lubrification	Entrée	Valeur d'Ecoinvent "clinker"		
0.27	0.21	150932	kg	Ethylène Glycol	Entrée	Valeur d'Ecoinvent "portland calcaireous cement"	Utilisé pour le grinding pour le ciment	
0.11	0.09	61254	kg	Acier	Entrée	Ecoinvent "clinker" et "portland calcaireous cement"	Usure des pièces (certainsent billes de broyage)	
0.03	0.02	344554	kg	Oxygène	Entrée	Calculé à partir des émissions de CO2 totales	0,726 kgO2 par 1kgCO2	
1.30	1.00	718722	t	Ciment	Sortie	Annual report, page Ash_2006_Report_MMP		
1.21	0.93	670280	m ³	Terre (mise en décharge)	Sortie	Calculé	Terre exploitée + pertes calcaire roche	
0.05	0.04	27148	t	poussières émises	Sortie	Calcul basé sur estimation	Poussière = 6% de la matière, et 50% est récupérée dans les filtres.	
0.03	0.02	15068	t	Poudre mélangée stockée	Sortie	Calcul	Différence poudre calcaire - poussières	
0.13	0.10	74028	GJ	Chaleur	Sortie	Valeur d'Ecoinvent "portland calcaireous cement"	Part pour la production de ciment	
3.62	2.79	2'008'018	GJ	Chaleur	Sortie	Valeur d'Ecoinvent "clinker"	Pour la production d'énergie fossile dans les fours	
0.21	0.16	114823	t	CO2	Sortie	Valeur d'Ecoinvent "clinker"	Pour la combustion d'énergie fossile dans les fours	
0.09	0.07	49701	t	CO2	Sortie	Valeur d'Ecoinvent "clinker"	Pour la combustion de déchets (ref. usines suisses)	
0.00	0.00	2'730	t	CO2	Sortie	Calculé sur la base de l'essence consommée	Pour la combustion d'essence (véhicules)	
0.01	0.01	6'135	t	CO2	Sortie	Calculé sur la base du diesel consommé	Pour la production d'électricité	
0.54	0.42	301'203	t	CO2	Sortie	Valeur d'Ecoinvent "clinker"	Libéré par la matière lors de la clinkerisation	
1.89	1.46	1'050'241	t	Vapeur d'eau	Sortie	Calculé	= quantité d'eau consommée	
1.08	0.83	599'077	kg	NOx	Sortie	Valeur d'Ecoinvent "clinker"		
0.36	0.27	196'919	kg	SO2	Sortie	Valeur d'Ecoinvent "clinker"		
0.00	0.00	1	g	Dioxines	Sortie	Valeur d'Ecoinvent "clinker"		

xxx = Valeur obtenue dans les rapports
xxx = Valeurs calculées à partir de la valeur des rapports

Tableau 4.1: Flux de matière annuel de la cimenterie d'AshakaCem, (AshakaCem 2006).

Nous voyons ainsi que les principales matières consommées sont :

- du calcaire
- de la terre qui recouvre le calcaire et qui est simplement déplacée
- des additifs (argile, sable et minerai de fer)
- du gypse
- des explosifs
- des sources d'énergies (LPFO, diesel, essence et électricité)
- de l'eau.

Les principales émissions et outputs sont :

- du ciment
- des poussières (en cheminée et diffuses)
- du CO₂ (émissions chimiques pour la clinkérisation et émissions de combustion)
- de la chaleur
- des NO_x, SO₂
- de la vapeur d'eau
- des eaux usées.

4.3.3. Analyse des flux de matière de la région et du secteur agricole

Une analyse des flux de matière formelle et détaillée de la région n'a pas été réalisée. En effet, une telle analyse est particulièrement difficile à réaliser dans un pays en développement car les sources d'informations statistiques sont presque inexistantes. Cependant il est possible d'avoir une idée générale des flux inexploités et des besoins de matière première sur la base d'entretiens avec la population locale. Les informations principales extraites des ces entretiens sont retranscrites ci-dessous.

Au niveau des déchets régionaux, il ressort des entretiens effectués en 2007, qu'il n'y a pas de déchet agricole exploitable. En effet tous les sous-produits de la culture de céréales sont actuellement utilisés pour l'artisanat ou comme fourrage pour le bétail.

Au niveau des matières premières nécessaires dans la région, les paysans cultivent surtout des céréales (sorgho, millet, maïs) en culture annuelle, mais également des légumineuses (cacahuètes) et des légumes (oignons, haricots et tomates). Les paysans mentionnent tous le manque d'accès aux fertilisants chimiques pour améliorer les rendements de leurs champs. Pour avoir accès aux fertilisants subventionnés par l'Etat les paysans doivent faire partie d'une association de paysans. Malgré cela, les fertilisants restent très chers pour les agriculteurs car leur livraison passe par de nombreux intermédiaires.

Il y a pour l'instant de nombreux champs non utilisés. Ils sont en jachère plusieurs années afin de retrouver un peu de fertilité. Cependant le risque que courent ces champs est de

devenir totalement infertiles par l'action conjointe des pluies fortes et du soleil qui durcit la terre et forme une sorte de cuirasse impropre à la culture.

L'accès à l'eau pose également problème. La saison des pluies donne peu d'eau. Il y a une rivière non loin, dont le lit reste humide. Mais il n'y a pas de possibilité d'irriguer, ce qui améliorerait grandement les rendements.

On peut également mentionner que les insectes sont un grand problème pour les cultures de la région, et le manque d'accès aux pesticides est relevé comme un problème.

En dehors des flux de matière, les paysans mentionnent des besoins sociaux. Le principal est le besoin d'avoir accès à un travail (sous-entendu rémunéré). En effet, ils ne considèrent pas l'agriculture comme un emploi car elle ne leur rapporte pas d'argent. Ils cultivent pour se nourrir, parce qu'ils n'ont pas de travail qui leur permettrait d'acheter de la nourriture produite par d'autres. Actuellement, l'agriculture leur donne quatre mois de travail par année, et huit mois d'inactivité à exploiter.

Le manque d'accès au crédit est également mentionné comme facteur limitant leur développement.

Les informations importantes sont donc :

- Pas de déchet agricole exploitable
- Manque d'accès aux fertilisants chimiques
- Manque d'accès aux pesticides
- Manque d'accès à l'eau
- Besoin d'avoir accès à des emplois
- Besoin d'avoir accès à des sources de crédit.

4.3.4. Propositions de synergies potentielles

Contrairement à un projet de Symbiose Industrielle où on met en relation les flux de matière des différents partenaires, ce projet ne cherche pas à identifier toutes les synergies possibles et intéressantes. En effet, l'entreprise a déjà fait une première sélection et identifié le flux de matière qu'elle souhaite remplacer, l'énergie.

Cependant, au vu des bilans de matière effectués, nous pouvons identifier deux éléments qui mériteraient une attention particulière.

Tout d'abord, l'utilisation de l'eau. En effet, l'entreprise pompe d'énormes quantités d'eau du sous-sol pour son usage. Une partie de cette eau sert à refroidir les poussières avant qu'elles soient filtrées, et est donc simplement évacuée sous forme de vapeur d'eau. Cependant dans une région où l'eau est une ressource rare, il y a certainement de nombreuses possibilités de récupérer cette eau pour en faire un usage local.

Par ailleurs, les fours dégagent une grande chaleur qui n'est pas exploitée. En effet, la chaleur n'est pas tellement ce qui manque dans cette région d'Afrique. Cependant, il y a de

nombreuses possibilités d'utiliser cette chaleur à des fins utiles (par exemple pour préchauffer les carburants, ou pour climatiser les bureaux).

Il faut cependant reconnaître que ces deux éléments demanderaient un investissement important au niveau des infrastructures de l'entreprise, et ne sont donc pas envisageables à court terme au vu des investissements de rénovation déjà en cours et du gain économique négligeable qu'ils pourraient représenter.

4.4. Objectifs et dimensionnement du projet de Symbiose Agro-Industrielle

Suite aux études d'opportunité et de faisabilité, les objectifs du projet de Symbiose Industrielle ont pu être précisés. Sur la base du remplacement d'une partie du combustible fossile utilisé dans la cimenterie par une bioénergie produite localement, les objectifs à atteindre sont [Giraudy *et al.* 2008, p.5] :

- réduire les coûts de l'énergie
- réduire les émissions de CO₂ de l'usine
- fournir une source de revenu à la population locale
- créer un partenariat avec la population locale qui lui permette d'être active dans son propre développement.

Deux types de substitutions énergétiques sont prévus par Lafarge. La première consiste à utiliser de la biomasse, c'est-à-dire des légumineuses et herbes hautes séchées et broyées, pour l'insérer dans la tour de préchauffage et ainsi substituer une partie du fuel lourd LPFO actuellement utilisé. La deuxième solution proposée est d'utiliser de l'huile de jatropha pour la production d'électricité en substitution de diesel. Ces différentes cultures seront proposées aux agriculteurs avec une formation sur les techniques à utiliser afin qu'elles puissent améliorer la gestion de la fertilité des sols et la diminution de l'érosion notamment. La faisabilité technique et financière et les moyens de réalisation sont largement décrits dans l'étude de faisabilité [Giraudy *et al.* 2008]. Les points principaux sont présentés ici. Notons par ailleurs que la production de biomasse est prévue sans irrigation artificielle ni fertilisation. Ce choix est motivé par des contraintes d'accessibilité des intrants. En effet, les fertilisants et pesticides sont très chers dans la région et fournir aux paysans des intrants pour les cultures de biomasse reviendrait à créer un marché parallèle au marché officiel, qui pourrait mettre Lafarge dans une situation déplaisante, voire illégale par rapport au gouvernement nigérian. De plus, une irrigation artificielle nécessiterait une grande (voire coûteuse) infrastructure qu'AshakaCem n'est pas prête à mettre en place. C'est pourquoi, en l'absence de moyens extérieurs pour augmenter la productivité des cultures, des techniques de fertilisation naturelle ont été choisies, ainsi que des moyens de lutte contre l'érosion et de maintien de l'eau dans le sol.

Dans une Symbiose Industrielle entre deux partenaires industriels, chacun des protagonistes est spécialiste dans son domaine et gère le flux de matière jusqu'à sa sortie ou depuis son entrée dans son usine. Dans le cas d'une Symbiose Industrielle avec la population locale initiée par l'entreprise, les responsabilités sont un peu différentes. En effet, la production agricole est réalisée par de nombreux paysans individuels. Ils sont rassemblés en groupements d'une trentaine de personnes. Un projet de l'ampleur prévue par Lafarge au Nigéria nécessite la participation de plusieurs milliers de paysans.

Afin de pouvoir produire la biomasse nécessaire à l'usine tout en préservant voire augmentant la production vivrière, il est nécessaire que les paysans reçoivent une formation sur les techniques adéquates. Par ailleurs, il est également nécessaire que la production des paysans ainsi que la préparation du biocombustible soient coordonnées de manière efficace. Aucun organe n'est actuellement en mesure de remplir ces fonctions parmi les paysans.

Ces formations et ce rassemblement des forces paysannes n'étant pas des compétences de Lafarge, une entité indépendante doit être créée. La filiale gèrera ainsi les relations de Lafarge et des paysans, la formation, le respect des conventions et la production de semences locales notamment.

Ce projet diffère des projets de Symbiose Industrielle habituels par le type de matière échangée. En effet, les projets existants utilisent les déchets (ou sous-produits) d'un produit agricole destiné à l'exportation. Dans le cas du projet nigérian, la matière de substitution n'est pas un déchet, mais un produit agricole d'une culture dédiée, dans une région vivant essentiellement de l'agriculture de subsistance.

Notons par ailleurs que si le terme de Symbiose Agro-Industrielle a été utilisé au début de la mise en place de ce projet au Nigéria, il n'est actuellement plus utilisé par l'entreprise Lafarge, même s'il continue de le considérer comme tel. Pour l'usine d'AshakaCem, le projet s'intitule actuellement "projet biomasse" ou "projet bio-énergie".

4.4.1. Objectifs de substitution d'énergie thermique

Nous trouvons les chiffres de production annuelle et de consommation de combustible dans le rapport interne de gestion 2006 de l'usine d'AshakaCem [AshakaCem works 2006]. L'usine est composée de deux lignes de production identiques qui travaillent en parallèle. La tour de préchauffage du four 2 est en train d'être remplacée par une nouvelle tour plus performante. Un aménagement de l'infrastructure de cette tour pour l'introduction du combustible alternatif est donc possible.

Le planning temporel et les objectifs chiffrés de la substitution du LPFO par de la biomasse pour la production de chaleur dans les fours sont présentés au tableau 4.2.

Tableau 4.2 : Objectifs de substitution de LPFO par des biocarburants produits localement.

	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5 [et suivantes]
Four 2, substitution pour préchauffage Approvisionnement par l'arrière	1%	2%	5%	10%	10%
Four 1, substitution pour préchauffage Approvisionnement par l'arrière	0%	0%	0%	0%	10%
Four 2, substitution pour chauffage Approvisionnement par l'avant	0%	0%	0%	0%	8%
Quantité totale d'énergie substituée en GJ	11'634	23'268	58'169	116'338	316'439

Remarque : Tiré de [Giraudy *et al.* 2008] (p. 45)

Le projet est donc de substituer dès la cinquième année 316'000 GJ d'énergie thermique produite par le LPFO, et de remplacer ce combustible par de la biomasse. Ces chiffres pouvant varier d'une année à l'autre, une petite marge est prévue pour la production de biomasse. Il est prévu que la participation des paysans augmente rapidement les cinq premières années, en commençant avec un petit groupe de 80 paysans pour atteindre 6000 paysans environ dès la cinquième année.

Comme nous le verrons par la suite, ce taux de substitution est proche de la limite supérieure. En effet, il y a plusieurs facteurs limitants, comme le pouvoir calorifique de la biomasse ou le taux d'humidité.

4.4.2. Objectifs de substitution d'énergie électrique

Le rapport interne de gestion 2006 de l'usine d'AshakaCem [AshakaCem works 2006] nous donne la consommation d'électricité annuelle. En 2006, 70% de cette électricité provenait de la compagnie nationale (PHCN), et 30% était produite par AshakaCem par des générateurs à partir de LPFO et de diesel. L'approvisionnement par la compagnie nationale étant fluctuante, il est prévu d'augmenter la part d'électricité produite sur place pour atteindre les 70%. En 2008, l'unité de production électrique était composée de 4 générateurs très anciens à injection directe d'une puissance totale de 12,5 MW, et qui ne permettaient pas l'usage d'huile végétale. Deux nouveaux générateurs sont venus les compléter, d'une puissance individuelle de 6,9 MW et qui permettraient l'utilisation d'huile végétale.

Il est prévu de produire annuellement 9752 tonnes de graines de jatropha à partir de la septième année pour en faire de l'huile (2800 tonnes/an) et remplacer une partie du LPFO et du diesel dans la production d'électricité⁷. Cette huile permettra de produire 106'355 GJ [Giraudy *et al.* 2008, Tab.15, p. 39 et Tab 28, p.51], et ainsi remplacer 3119 tonnes de LPFO dans la production d'électricité. Les caractéristiques techniques de l'huile végétale et

⁷ Le résidu du pressage des graines de jatropha pour en faire de l'huile est un tourteau. Contenant une substance toxique pour les hommes et les animaux, ce tourteau ne peut pas être utilisé comme fourrage, mais il peut être utilisé comme fertilisant naturel.

du LPFO, ainsi que la prévision de production annuelle, permettent d'estimer qu'on pourrait utiliser un mélange composé de 15% d'huile végétale.

L'idée de remplacer le diesel utilisé dans les véhicules a pour l'instant été abandonnée à cause des difficultés légales et techniques (la composition de l'huile obtenue implique des dépôts importants dans les moteurs).

La production d'huile de jatropha nécessite un investissement important pour la mise en place d'une huilerie, investissement que l'entreprise AshakaCem n'est pas en mesure de faire à court terme. Cependant le jatropha étant un arbre, il faut plusieurs années avant que les premières graines soient produites. Ainsi, il est fort probable que les projets actuellement en cours à l'usine d'Ashaka soient terminés et que de nouveaux investissements soient possibles. C'est pourquoi cette proposition est malgré tout conservée.

4.4.3. Agriculture et production d'énergie

Pour réaliser ces objectifs de substitution énergétique, différentes plantes ont été sélectionnées et sont présentées ici. Les techniques de culture utilisées et les quantités à produire sont également présentées. Les étapes de production pour la biomasse et pour l'huile végétale sont décrites en détail dans ce paragraphe. Il n'est en effet pas prévu d'utiliser de fertilisant chimique. Les techniques d'intercultures et de haies sont donc essentielles pour maintenir la fertilité des sols et doivent être utilisées en complément aux cultures vivrières existantes.

Plantes sélectionnées

Trois types de plantes sont prévues : des graminées (herbes de vétiver: herbes hautes qui poussent facilement), des légumineuses (Crotalaria: ayant l'avantage de ne pas nécessiter d'engrais car elles fixent l'azote de l'air) et des plantes productrices d'huile (jatropha). Toutes ces plantes poussent sans irrigation lors de la saison des pluies et feront donc partie de la rotation de cultures.

Les informations sur ces plantes sont les suivantes:

Herbes de vétiver (nom scientifique "Andropogon Gayanus"):

- Herbes pérennes et hautes (jusqu'à 3 mètres), bien adaptées à de nombreux types de sols.
- Peut être utilisé comme haie, en bandes et en monoculture si des fertilisants sont disponibles.
- Haut rendement attendu: 10t/ha de biomasse en monoculture. Nécessité de fertiliser.
- Connues et utilisées localement, bonnes semences disponibles localement, peuvent aider à la lutte contre l'érosion.

Crotalaria:

- Légumineuses annuelles, grande diversité d'espèces disponibles, locales et importées.
- Peut être utilisé en culture intercalaire avec des céréales ou en bandes.
- Rendement attendu : 3-5 t/ha de biomasse
- Ne nécessite pas de fertilisant, facilité d'obtenir des semences, bonnes expériences locales en culture associée avec des céréales.
- Perte de biomasse au séchage, et compétition avec le niébé (une autre légumineuse locale) et les arachides importantes dans la production locale.

Différents types de plantes productrices d'huile ont également été investiguées. Le tournesol avait été proposé comme solution intéressante, mais a été éliminé car l'huile produite est comestible. En effet, il y a un grand déficit d'huile au nord du Nigéria et il y aurait donc une grande pression sur les paysans pour qu'ils vendent cette huile à d'autres acheteurs, qui serait donc détournée de l'usage voulu par Lafarge. C'est un risque que l'entreprise ne veuille pas courir. En effet, les investissements faits par l'entreprise doivent en premier lieu servir les besoins de l'entreprise. L'huile de jatropha et de ricin sont elles non comestibles et permettraient de garantir que les paysans ne vendent leur production qu'à AshakaCem. Le jatropha est donc sélectionné pour produire de l'huile.

Le jatropha est un petit arbuste qui produit des graines dès la troisième année. Comme dit précédemment, ces graines sont toxiques car elles contiennent de la jatrophine. Les arbustes sont épineux et peuvent servir à protéger les cultures vivrières de la divagation du bétail. C'est un arbuste qui pousse naturellement dans cette région du Nigéria. Son utilisation pour la fabrication d'huile est relativement récente, mais pleine de perspectives. De nombreuses agences de développement en font maintenant la promotion, suite à des résultats très positifs en Inde. Cette plante pousse sur des sols très peu fertiles. Mais il est bien entendu qu'elle pousse encore mieux sur des sols plus fertiles.

Techniques culturales

Différents types de culture sont prévus. Ils s'approchent des techniques utilisées traditionnellement, mais proposent des améliorations pour mieux lutter contre les problèmes de fertilité, d'érosion, de captage de l'eau et de divagation des animaux.

Les trois techniques qui vont être introduites sont l'utilisation de bandes, de haies et de culture intercalaire. Les herbes peuvent être utilisées en bandes d'un mètre de large, en suivant les contours du terrain (c'est-à-dire les courbes de niveau), dans le sens perpendiculaire à la pente, tous les 15m, et permettent ainsi de diminuer l'écoulement rapide de l'eau.

Le jatropha peut être utilisé en haie, pour délimiter les hectares. Pour augmenter la biomasse disponible, ils peuvent être utilisés pour délimiter des quarts d'hectares.

Les herbes de vétiver sont des plantes qui exportent une grande quantité de nutriments du sol. Il est donc nécessaire de les utiliser soit avec du fertilisant, soit avec des légumineuses (crotalaria) qui fixent l'azote de l'air et diminuent ainsi l'exportation de nutriments.

La technique la plus intéressante est la culture intercalaire de céréales traditionnelles et de légumineuses, qui permet d'améliorer la fertilité du sol et fournir de la biomasse, sans nécessiter de période de jachère. Cette manière de faire nécessite un conseil et un appui technique réguliers.

Une technique également très intéressante qui pourrait être introduite par la suite serait le SCV ou semis sous couvert végétal, qui permet d'améliorer la protection et la structure du sol et la fertilité. Cette technique possède des inconvénients liés notamment au fait qu'il est alors plus difficile de lutter contre les ravageurs. Ainsi, pour que les paysans ne la rejettent pas en bloc, son introduction dans la région nécessite une préparation et de nombreux essais sur le terrain avant de leur être proposée.

Pour résumer un exemple des différentes techniques prévues sont présentées au tableau 4.3:

Tableau 4.3: types de cultures envisagées et leur productivité annuelle [Giraudy *et al.* 2008](p.24)

1. Haies pour produire de la biomasse		
1.a	2 lignes d'herbes de vétiver tous les 0,25 ha : <i>2 lignes *6(lignes/ha)*100 m / 0,3 kg par m / 0,8 m entre les lignes</i>	360 kg/ha
1.b	2 lignes mélangées d'herbes de vétiver et de légumineuses <i>mêmes dispositions</i>	480 kg/ha
2. Bandes contour pour produire de la biomasse		
2.a	1 ligne d'herbes de vétiver tous les 15 m	180 kg/ha
2.b	1 ligne d'herbes de vétiver + légumineuses tous les 15 m	240 kg/ha
3. Champ en jachère productive pour produire de la biomasse		
3.a	Herbes de vétiver + légumineuses en lignes mélangées	4 000 kg/ha
3.b	Herbes de vétiver + légumineuses en lignes alternées	3 000 kg/ha
4. Culture intercalaire de légumineuses		
4.a	Légumineuses	3 000 kg/ha
5. Production de biomasse par le jatropha (3 premières années)		
5.a	Haies de jatropha	300 kg/ha
5.b	Culture couvrante sur jachère (légumineuses) (La biomasse est laissée après récolte pour couvrir le sol)	500 kg/ha
5. Production d'huile (jatropha)		
5.a	Haies de jatropha	300 kg/ha
5.b	Culture couvrante sur jachère (légumineuses)	3 000 kg/ha

Dimensionnement pour la production de biomasse

Afin d'atteindre les objectifs de 316'000 GJ après 5 ans, en considérant une capacité calorifique de 15GJ/t [Giraudy *et al.* 2008, p.41], environ 21'000 t de biomasse seraient

nécessaires. Avec un rendement moyen de 720kg/ha, environ 30'000 ha et 10'000 fermes seront nécessaires.

Le tableau 4.4 présente les étapes de production et d'utilisation, ainsi que les investissements nécessaires. Cela permet de mieux comprendre concrètement ce que la réalisation d'un tel projet implique. La filiale est mandatée pour mettre en place, diriger, produire les semences et s'assurer du bon fonctionnement de l'ensemble.

Tableau 4.4: Investissements et points-clés des différentes étapes de réalisation de la Symbiose Industrielle basée sur la biomasse pour la production de chaleur.

Etapes de production	Points-clés	Investissements
- Règlement et contrats	<ul style="list-style-type: none"> - A définir par les agents de développement et la filiale, et implémenter avec les paysans - Expliquer les critères aux associations - Définir méthodologie de vérification, acceptation/discrimination 	- Investissements: projecteur vidéo, écran et générateur
- Production de semences	<ul style="list-style-type: none"> - Production de semences de qualité à vendre aux paysans (à crédit sur la récolte) - Stockage des semences en magasin - Transport aux villages 	- Construction d'un magasin adapté à AshakaCem
- Culture et récolte de la biomasse et des graines à huile	<ul style="list-style-type: none"> - Création d'associations de paysans - Formation des paysans aux techniques de culture à utiliser - Personnel nécessaire: magasinier, agents de sécurité, agents de développement (formation des paysans) - Procédure de gestion des semences/crédits, contrats avec des transporteurs 	- Personnel d'enseignement et de gestion
- Préconditionnement de la biomasse au village: séchage et entreposage	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en botte ou en balle manuelle - Stockage dans le village ou les champs 	
- Transport et accès à l'usine	<ul style="list-style-type: none"> - Transport par camion : 4t de biomasse pour un camion de 30m³. Sous-traitance à une compagnie de camions 	- Pont-basculer pour peser les camions. (85k€)
- Réception des camions et preconditionnement à l'usine	<ul style="list-style-type: none"> - Espace de stockage nécessaire (400m²) 	- Machines de mise en balle (20k€)
- Stockage sécurisé (feu)	<ul style="list-style-type: none"> - Stockage sur la terre compactée et recouverte de sable de la carrière (pas de béton). - Piles de 20mx20mx2m, distantes de 20m et recouvertes de bâche goudronnée pour réduire les risques d'auto-inflammation. Surface nécessaire : 130'000m². 	<ul style="list-style-type: none"> - préparation du terrain (7,5k€) - Tracteurs pour les déplacements des balles (30k€)

<ul style="list-style-type: none"> - Transfert de la biomasse du stockage au four <ul style="list-style-type: none"> o Route o Broyage o Stockage de régularisation o Dosage o Injection 	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en place d'infrastructures de transport, broyage, dosage et injection dans la tour de préchauffage. 	<ul style="list-style-type: none"> - Route pour le transfert du stock au four : 5k€ - Rouleau pour la réception et insertion dans le moulin - Moulin-broyeur : 5t/h (500k€) - Stockage en deux silos (2x1000m³) (500k€) - Extraction du silo par une vis sans fin - Dosage par courroie pesante (30k€) - Trémie et injection pneumatique (100k€)
---	--	--

Nous voyons ainsi que des investissements seront surtout nécessaires au niveau de la modification des infrastructures de l'usine.

La production d'huile de jatropha nécessitera plusieurs autres investissements importants. Le plus important est la mise en place d'une huilerie.

Une huilerie est principalement constituée d'un bâtiment, d'un dispositif de pressage à froid ou à chaud, d'un dispositif de séparation des cakes et de l'huile ainsi que d'une station de filtration de l'huile. L'ensemble représente un investissement de 1200 – 1300 k€, et des employés ayant des connaissances spécifiques.

Il a dans un premier temps été décidé de ne produire que de la biomasse qui nécessite moins d'investissements importants, mais de cependant déjà planter du jatropha pour les raisons culturelles évoquées précédemment.

4.4.4. Réalisation de la première année pilote

La première année-pilote a fait l'objet d'un rapport [Giraudy 2010] dont les points principaux sont rapportés ici. Ce rapport fait l'état des lieux des plantes testées sur différents types de sols et sur la compréhension et l'intérêt des agriculteurs à mettre en place les techniques proposées. Il intègre également les derniers éléments des grands projets d'AshakaCem (mine de charbon et tour de préchauffage), ce qui le mène à revoir les objectifs du projet de bio-énergie.

Objectifs et résultats de la première année pilote

Les objectifs de la production de biomasse par la population locale ont été résumés et sont de:

- Produire de l'énergie à partir de biomasse pour l'usine de ciment
- Fournir une source de revenus supplémentaire pour les paysans.

Une chose également importante est de réduire les coûts de l'énergie, d'obtenir des crédits-carbone et d'induire un développement local. L'idée est que ce projet commun entre l'usine et la population locale permette d'améliorer leurs relations, de construire des relations de

confiance basées sur la transparence et de passer d'une relation d'assistance à celle de partenariat.

Il y a une prise de conscience que certains risques peuvent être liés au projet de bio-énergie pour les paysans :

- Risque économique si le prix de la matière n'est pas suffisant
- Risque social si la sécurité alimentaire à l'échelle de la ferme est mise en danger
- Risque environnemental si les paysans pratiquent la déforestation pour produire la culture de rente ou si la nouvelle culture a des conséquences négatives sur la structure du sol (érosion) ou sur la fertilité.

Ces risques étant identifiés, ils permettent de cadrer correctement le projet et de définir les techniques et accompagnement nécessaires.

Les objectifs spécifiques de cette première année pilote étaient les suivants :

- Démontrer que la culture de biomasse est possible dans la région d'AshakaCem
- Maintenir et améliorer les relations avec la communauté locale en mettant en place des actions concrètes liées au projet
- Réhabiliter et réactiver la ferme d'Ashaka (une ferme ayant anciennement pour but de réhabiliter la carrière, mais qui a été abandonnée par manque de volonté de l'entretenir)
- Améliorer la connaissance des conditions locales pour tester les hypothèses faites dans l'étude de faisabilité et pour développer des solutions agricoles adaptées.

Pour atteindre ces objectifs pratiques, deux personnes ont été engagées pour encadrer les paysans et leur enseigner les techniques. Ainsi, dix villages ont été choisis et 80 agriculteurs ont participé, chacun s'engageant à employer au moins une des techniques enseignées. L'expérience a montré que les centres relativement grands situés proches d'une grande route ne sont pas adaptés à la mise en place de projets agricoles car les gens y ont d'autres opportunités liées à l'économie d'une petite ville.

La sécurité alimentaire est un problème complexe qui lie :

- (i) la production alimentaire,
- (ii) les besoins financiers des paysans et leur manière d'y répondre : en vendant des cultures de rente, une partie de leur culture vivrière ou par d'autres moyens,
- (iii) la nature de ce que les paysans mangent pour se nourrir.

Un indicateur approximatif est la quantité de céréales disponibles par personne et par année. Une valeur en dessous de 250 kg est considérée comme une situation d'insécurité alimentaire. L'évaluation de la production existante des paysans-pilotes montre que 60% d'entre eux peuvent être confrontés à des problèmes de sécurité alimentaire. Mais il apparaît également que les villages qui sont apparemment les plus touchés (car ils produisent moins de 250 kg de céréales par personne et par année) sont ceux qui ont d'autres sources de revenus possibles ou qui ont des "jardins potagers" où ils produisent des légumes. La sécurité alimentaire ne semble donc pas être un problème dans la région, même si globalement aucun surplus de céréales ou financier n'est dégagé sur l'année. Le problème le

plus important pourrait plutôt être le manque de cultures de rente⁸, ce qui pourrait augmenter le risque de forcer les paysans à vendre leurs stocks de céréales pour leurs besoins financiers, d'où l'intérêt du projet de Symbiose qui introduirait une nouvelle culture de rente et un marché pour l'écouler.

Au niveau de l'accompagnement, des démonstrations aux villages et à la ferme d'Ashaka ont régulièrement été organisées et des feuilles descriptives des techniques ont été distribuées. Quatre techniques ont été testées : les haies de jatropha, la culture de jatropha sur des jachères, bandes et haies d'herbes de vétiver et culture intercalaire de légumineuses (*crotalaria*) et céréales.

Le bilan de cette première année permet d'identifier certaines contraintes de l'agriculture locale à résoudre. En effet, le climat est parfois très difficile dans cette région. Les épisodes pluvieux peuvent être rares et de courte durée. Les paysans disposent ainsi de très courtes périodes pour semer leurs cultures, nécessitant même d'engager ponctuellement des ouvriers agricoles. Leur priorité est bien entendu dédiée aux cultures vivrières. Pour développer une agriculture de rente performante, une plus grande compréhension des contraintes et opportunités des paysans est nécessaire, en terme de calendrier agricole, disponibilité de forces de travail, disponibilité de terrain, production de céréales, sécurité alimentaire et revenus. L'utilisation de cultures de rente pérennes permet d'éviter de surcharger les paysans aux moments charnières. C'est notamment le cas du *Jatropha* et des herbes de vétiver, même si la première année nécessite bien entendu plus de travail pour ces plantes.

Les rendements obtenus après cette première année de culture sont encourageants. Les techniques agricoles proposées et les semences choisies doivent cependant être améliorées pour obtenir de meilleurs rendements. Certains paysans ont obtenu des rendements très faibles, mais avaient planté sur des terres très dégradées. Dans de tels cas, il n'est pas rentable pour eux de vendre la biomasse produite, et ils ont meilleur temps de la laisser sur les champs comme fertilisant naturel. Cependant, si la fertilité est améliorée, cela peut être considéré comme un investissement à long terme pour les paysans et être une solution en l'absence de fertilisants chimiques disponibles.

Le rapport montre que le prix de la biomasse proposé aux paysans doit être adapté pour qu'ils aient un intérêt à cette culture. Ainsi, le prix annoncé cette première année s'est montré insuffisant pour balancer les coûts engendrés pour les travaux des champs. Etant donné qu'il y a une petite marge de manœuvre, ces prix devraient être augmentés les années suivantes.

⁸ Une culture de rente, est une culture destinée à être vendue, afin que le paysan puisse avoir de l'argent liquide pour toute l'année : soins médicaux, écolage des enfants, etc. Le coton, l'arachide ou le sésame sont des exemples de culture de rente.

Le transport de la biomasse pose également problème et des solutions pour un premier broyage au village doivent être envisagées.

Une enquête auprès des paysans après la première année a permis d'évaluer l'acceptation et leur compréhension du projet. La majorité des paysans étaient satisfaits et prêts à continuer l'expérience. De nombreuses nouvelles personnes souhaitent faire partie du projet. Une partie d'entre eux n'a cependant vraisemblablement pas compris la philosophie du projet car ils attendaient plus de "cadeaux" ou d'aide de la part de la compagnie, dans un esprit de "charité" plus que de développement basé sur le partenariat. Une grande partie d'entre eux considère encore AshakaCem comme une source de cadeaux gratuits, et attendent que la compagnie leur offre les fonds, les fertilisants et autres intrants nécessaires. Mais l'entreprise considère que cette vision des choses n'est pas durable et que des aides ponctuelles ne doivent être données que si elles sont productives et ne sont pas en contradiction avec l'un des objectifs principaux du projet qui est de passer d'une relation d'assistance au partenariat.

A la lecture de ce premier retour d'expérience, nous réalisons que le changement de mentalité est un processus qui prend du temps. L'histoire de la relation entre AshakaCem et la population locale est basée sur l'assistance, et créer une relation de partenariat nécessite un engagement sur le long terme, avec une position claire et des conditions transparentes dès le début. A l'image de tout projet d'écologie industrielle, les différents acteurs sont libres de prendre part ou non au projet et de bénéficier d'avantages qu'ils pourraient en retirer. Malgré ce "désaccord" sur le fond du projet, force est de constater que les paysans savent qu'ils ont quelque chose à y gagner, car même s'ils espèrent toujours obtenir certains avantages gratuitement, la majorité d'entre eux souhaite continuer ce partenariat.

Evolution du contexte d'AshakaCem

Plusieurs éléments contextuels ont évolué entre l'étude de faisabilité et la fin de la première année pilote. Ils ont indirectement influencé les objectifs, la stratégie de mise en place et l'évolution du projet.

Le premier élément concerne la rénovation de la tour de préchauffage n°2. En effet, une tour plus moderne était en construction pour remplacer la tour de préchauffage n°2. Il était donc prévu que la biomasse serait introduite au bas de cette tour, le dispositif d'introduction de la biomasse étant mis en place au moment de la construction. Cependant, cette construction a été arrêtée et n'est donc pas terminée. Il n'y a donc pas de possibilité d'introduire la biomasse grossièrement broyée par le bas. Pour pouvoir être utilisée, celle-ci devrait alors être broyée très finement pour être introduite en haut de la tour avec le reste de la matière. Ceci nécessite l'acquisition de nouvelles infrastructures relativement coûteuses et remet donc en question l'utilisation de biomasse.

Par ailleurs, une mine de charbon a été achetée par AshakaCem afin de remplacer le LPFO actuellement utilisé par du charbon et ainsi de réduire les coûts de l'énergie. Les premiers tests avaient estimé un pouvoir calorifique proche de celui du LPFO. Cependant des tests ultérieurs ont révélé que le charbon avait une moindre qualité et un pouvoir calorifique de seulement 17 GJ/t. Pour pouvoir atteindre une température de 1400°C, le combustible utilisé pour chauffer le calcaire doit avoir un pouvoir calorifique égal ou supérieur à 22GJ/t. Ainsi, mélanger de la biomasse ayant un pouvoir calorifique de 14-15GJ/t au charbon ne permet pas d'atteindre la température nécessaire, et un complément de LPFO reste nécessaire. Cela peut donc remettre en cause l'utilisation de la biomasse comme combustible de substitution.

De plus, de nouveaux générateurs électriques ont été acquis, qui permettent d'utiliser de l'huile végétale, ce que ne permettaient pas les anciens générateurs. Ainsi, l'utilisation d'huile de jatropha pour remplacer une partie du diesel utilisé dans la production d'électricité serait envisageable.

Conclusions

Les premiers résultats de partenariat avec les paysans locaux se montrent très encourageants. Cependant l'évolution du contexte infrastructurel de l'entreprise rend les solutions proposées initialement inexploitable. Mais la gestion de la sécurité est un élément très important pour l'entreprise qui considère que le projet proposé est totalement adéquat pour créer un climat de confiance avec la population locale. Le prix de la sécurité n'est pas évaluable. Ainsi, l'entreprise souhaite continuer le projet. Elle le considère comme important pour sécuriser la région et ainsi garantir son activité tout en stimulant un développement local minimal.

Pourtant, les questions logistiques, infrastructurelles et financières mettent en péril la réalisation à court terme d'un tel projet, dont les résultats se construiront sur le moyen terme. La volonté et l'investissement de chacun des partenaires sont donc nécessaires pour qu'il puisse se mettre en place.

Le choix définitif entre les différentes alternatives envisagées (biomasse, huile végétale) n'a pas été fait. Les deux possibilités restent envisageables et sont complémentaires en ce qui concerne la gestion de la fertilité du sol. C'est pourquoi elles continueront à être produites les années à venir en parallèle et achetées par AshakaCem jusqu'à ce qu'une décision soit prise.

4.5. Retour sur les objectifs de la synergie envisagée

Ce paragraphe présente quelques éléments de critique du projet dans ses objectifs et dans sa réalisation. Il met également en perspective les objectifs de l'usine d'AshakaCem avec des objectifs plus globaux de développement.

4.5.1. Discussion sur le dimensionnement et le choix des plantes

Choix des plantes

Nous constatons que le choix par l'entreprise des plantes à cultiver est en partie dicté par la peur que les paysans trouvent d'autres acheteurs qui seraient d'accord de payer plus cher pour obtenir leur huile. Cependant du point de vue d'un développement local autocentré (qui est l'un des buts du projet), il serait peut-être plus favorable que la population puisse choisir de produire un peu plus, créer un marché local pour cette ressource et ait ainsi un moyen de se développer par elle-même. Mais pour l'entreprise qui met en place toute une stratégie régionale de formation pour les agriculteurs et leur vend les semences à crédit sur la récolte, il est nécessaire de garantir que l'investissement consenti leur revienne. En effet, si la pression sur la ressource est grande, les paysans seront tentés de vendre leurs récoltes à des prix plus élevés à d'autres acheteurs et feront donc monter les prix de la ressource, ce qui la rendra moins intéressante économiquement pour AshakaCem.

Concernant le choix du jatropha, cet arbuste a de nombreux avantages que nous avons identifiés précédemment, dont celui d'être non comestible. Cependant il a également plusieurs désavantages importants. Premier élément connu : c'est une plante épineuse qui va créer beaucoup de problèmes aux agriculteurs lors de la récolte.

Deuxièmement, le Jatropha produit une substance toxique, la jatrophine ou curcine. Il existe un risque, actuellement non évalué, que cette substance se retrouve sur les cultures vivrières intercalaires. Il existe également un risque pour les employés de l'huilerie d'inhaler cette substance toxique lors de leur travail. Ces deux risques existent mais ne peuvent pas être évalués par manque de connaissances sur cette plante. La persistance de cette substance n'est notamment pas connue. En effet, cette plante était connue de longue date par les populations indigènes pour différentes utilisations médicinales mais également pour sa très haute toxicité. C'est seulement très récemment que son utilisation à grande échelle pour la production de biocarburant a été envisagée. De nombreux éléments doivent donc encore être éclaircis pour garantir que la toxicité de cette plante est bien cadrée et que les risques peuvent être maîtrisés.

Types de culture et dimensionnement

Concernant le dimensionnement et le nombre de paysans qui seraient concernés par ce projet, il y a une difficulté culturelle à surmonter. En effet, la mise en place d'un tel projet se heurte à différents problèmes de compréhension culturelle et linguistique de certains concepts. Tout projet nécessitant un dialogue interculturel est confronté à de tels problèmes communicationnels. Ici la notion de "ferme" a été difficile à définir et est comprise différemment par les différents partenaires. Lors des entretiens avec les paysans, nous avons utilisé cette notion afin de déterminer le nombre de paysans et le nombre d'hectares possédés/utilisés. Ainsi, cette notion, en français, est traduite dans notre perception en anglais "d'Angleterre", qui est elle-même comprise en anglais "du Nigéria" pour enfin être traduite en langue locale (Haoussa).

Par ailleurs, l'utilisation des statistiques officielles pour déterminer la surface cultivable et la surface par paysan a fourni des chiffres peu réalistes. Ainsi, sur la base des questions posées aux paysans, nous avons réussi à déterminer qu'il y avait un peu moins d'un hectare par personne (paysan ou ouvrier agricole), et environ 8 ha par ferme. C'est sur cette base que tous les calculs ont été faits. Au-delà de la compréhension précise du nombre de personnes d'un ménage (notion qui est clairement très différente en Europe et en Afrique), il importait de savoir quelle surface était disponible pour des cultures et celle qui était actuellement utilisée.

Chaque ferme pourrait utiliser toutes les techniques proposées sur les champs cultivés habituellement. Nous pouvons ainsi calculer la surface nécessaire et les rendements théoriques que ceux-ci obtiendraient. Pour une ferme moyenne d'environ 8 ha cultivés et 8 travailleurs (cf. [Giraudy *et al.* 2008, p.11]), 3 ha pourraient être entourés et quadrillés de haies (herbes, légumineuse ou jatropha), 4 ha pourraient être utilisés avec des bandes de lutte contre l'érosion (herbes et légumineuses), et 1 ha pourrait être utilisé en jachère productive avec du jatropha et des légumineuses couvrantes. Elle produirait ainsi annuellement 4105 kg de biomasse, et 1650 kg d'huile après 3 ans. Ces cultures dédiées à la production d'énergie occuperaient ainsi 38% de la surface cultivable actuellement utilisée par chaque ferme (voir le calcul au tableau 4.5). Cependant il faut bien noter que, selon AshakaCem, cette surface n'est globalement pas prise sur la surface utilisée pour la culture vivrière, mais correspond à du terrain non utilisé.

Selon ce qui est prévu, tous les champs seraient, au moins en partie, utilisés pour la production énergétique, et la production céréalière devrait "s'adapter" à l'utilisation du sol des cultures de rente. Dans une agriculture uniquement basée sur la force humaine, cette solution est envisageable, même si très contraignante. Si des machines devaient être utilisées, cette solution deviendrait très peu réalisable.

Ainsi, bien qu'il ait semblé au départ que les cultures dédiées n'utiliseraient pas de terrain qui pourrait être exploité pour la culture de céréales, nous réalisons que cette surface atteint quand même les 38%, une valeur non négligeable. Cependant, il faut reconnaître qu'une grande partie de cette surface est actuellement en jachère et ne peut pas être utilisée. Les techniques qui seront utilisées permettront d'améliorer la fertilité des sols et d'éviter de devoir mettre des champs en jachère plusieurs années entre les différentes cultures. Ainsi, nous pouvons estimer que l'introduction d'une culture de rente qui emploie du terrain destiné aux cultures vivrières est compensée par l'apport bénéfique sur la fertilité des sols des nouvelles techniques employées.

Tableau 4.5 : Calcul de la surface utilisée pour la production d'énergie pour une ferme de 8 hectares.

Hypothèses :

- Une ligne d'herbes de vétiver, légumineuses, ou jatropha fait 0,6m de large. (0,5-0,75 selon [Giraudy *et al.* 2008, p.36])
- Il y a un espace de 0,6m entre chaque ligne.
- En culture intercalaire avec du jatropha, 1/4 de la surface est disponible pour la culture céréalière et 3/4 est utilisée pour le jatropha.

1) 1ha de haies (contour et tous les 0,25ha) composée d'1 ligne d'herbes de vétiver et 1 ligne de légumineuses (biomasse). Largeur d'une haie : 1,2 m (=0,3m+0,6m+0,3m)

Haies dans la largeur de l'hectare : $1,2m \times 4 \times 100m = 480m^2$

Haies dans la longueur de l'hectare : $1,2m \times 4 \times (100-4,8)m = 457m^2$

Total = $940m^2$

2) 4ha bandes anti-érosion d'herbes de vétiver + légumineuses tous les 15m (biomasse)

Largeur d'une bande : 1,2 m . Nombre de bandes sur 400m (4ha) = 26 bandes

26 bandes * 1,2m/bande*100m = $3120m^2$

3) 0,25ha jachère productive (herbes de vétiver + légumineuses) (biomasse)

$0,25 \times 10'000m^2 = 2'500 m^2$

4.1) 2ha haies de jatropha en culture intercalaire (huile)

$0,75 \times 20'000m^2 = 15'000m^2$

4.2) 0,35ha jatropha en jachère (huile)

$0,35 \times 10'000m^2 = 3'500m^2$

5) 0,5ha de légumineuses en jachère (biomasse)

$0,5 \times 10'000m^2 = 5'000m^2$

Total : $940+3120+2500+15000+3500+5000=30'060 m^2$ soit environ 3ha

Surface pour la production de biomasse = $11'560m^2$

Surface pour la production d'huile = $18'500m^2$

8ha représentent $80'000m^2$. La surface utilisée pour la production d'énergie représente donc 38% de la surface disponible.

4.5.2. Critiques à l'encontre du projet

Plusieurs critiques pourraient être formulées par des observateurs extérieurs, des représentants d'ONG ou des militants des droits de l'Homme à l'encontre d'un projet de Synergie de ce type. Je vais ici aborder ces critiques et apporter les éléments qui permettent de les justifier ou de montrer qu'elles ne sont pas fondées. Comme nous le verrons, les motivations profondes des meneurs du projet sont un point crucial.

Utilisation de la biomasse pour un développement local

Dans une région où la sécurité alimentaire n'est pas garantie, c'est-à-dire que la production vivrière locale ne suffit pas toujours à nourrir la population locale, les défenseurs des populations rurales et de l'Homme en général pourraient considérer que la production agricole dédiée au biocarburant ne devrait pas avoir lieu [Culot *et al.* 2007; Fallot *et al.* 2007]. Dans un tel contexte, les critères qui pourraient justifier la production de

biocarburants sont que l'énergie produite soit utilisée par la population pour des activités économiques ayant une plus haute valeur ajoutée, permettant ainsi un développement économique local [RSB 2009]: activités de transformation (scierie, couture, ...) ou de mécanisation (utilisation de tracteur ou d'une camionnette), par exemple. Ce n'est pas ce qui est prévu dans ce projet, l'énergie étant utilisée pour une entité extérieure à la population.

Une telle critique part de l'idée préconçue que la production de biocarburant va faire diminuer la production vivrière, et que cette diminution doit être compensée par un plus grand pouvoir d'achat et une plus grande autonomie grâce à une diversification des activités économiques.

Cependant, afin d'être profitable pour tous les partenaires, ce projet a été conçu de manière à ne pas diminuer la production vivrière, mais au contraire la renforcer. En effet, la culture de biomasse va venir compléter la culture vivrière de manière à lutter contre l'érosion, la divagation des animaux et améliorer la disponibilité de l'eau pour les plantes. Ainsi, la culture dédiée aux biocarburants permet dans ce cas précis d'améliorer la production vivrière et surtout la formation des agriculteurs à des techniques adaptées à leur terrain. Nous pouvons ainsi considérer qu'elle est souhaitable pour la région.

Fertilité du sol et production alimentaire

Demander aux paysans d'utiliser presque 40% du terrain agricole pour la production d'énergie, alors que ces terrains suffisent à peine à garantir les besoins alimentaires de la population qui les exploite est un projet qui peut sembler choquant et inapproprié pour un observateur externe.

Cette question, qui s'est posée dès les premières étapes de définition du projet a permis de modeler le projet de manière à ce que la culture de rente apportée permette d'augmenter globalement la fertilité du sol et donc d'augmenter également la culture céréalière [Giraudy *et al.* 2007, p.20]. D'autres arguments sont que l'apport d'un revenu financier permettra aux paysans de faire des investissements (matériel de travail, animaux de trait, etc.) et leur évitera de devoir vendre une partie de la culture vivrière en fin de saison pour les besoins financiers. Un projet bien mené leur apporte également du professionnalisme tant au niveau de la formation sur les techniques à utiliser qu'au niveau organisationnel à travers l'apprentissage du fonctionnement par associations de paysans.

Ces apports positifs sont notamment observés dans les zones d'Afrique de l'Ouest où le coton a été introduit. Dans ces régions, une formation est donnée aux agriculteurs sur les techniques à utiliser pour lutter contre l'érosion et favoriser la fertilité du sol. Le coton est une culture qui rapporte de l'argent, mais également qui nécessite de grandes quantités d'intrants (fertilisants et pesticides). La rotation de culture étant appliquée, les cultures suivantes bénéficient encore des fertilisants appliqués l'année précédente et les rendements sont donc meilleurs [Giraudy *et al.* 2007, p.20].

Dans le cas du projet nigérian, il n'est cependant pas prévu d'utiliser de fertilisants. En effet, l'acquisition de fertilisants chimiques dans cette région est difficile et très chère. Les filières d'approvisionnement passent par de nombreux intermédiaires et le marché informel est très

développé. Introduire des fertilisants vendus à prix coûtant aux paysans participant à la Symbiose Industrielle créerait un marché parallèle contraire aux objectifs du projet. Pour combler le manque de fertilité des sols, il a été défini dans le projet nigérian que des techniques de fertilisation naturelles seraient proposées aux paysans et leur offriraient ainsi une plus grande autonomie. L'équilibre de l'apport des nutriments est donné par des légumineuses qui fixent l'azote de l'air et le rendent disponible pour les autres cultures, notamment en cultures intercalaires. Par ailleurs les techniques de lutte contre l'érosion introduites, ainsi que l'amélioration de la disponibilité de l'eau vont également dans le sens d'améliorer globalement la fertilité des sols. Afin de s'assurer que l'agriculture reste pérenne suite à l'introduction des nouvelles cultures de rente, il serait bien de contrôler après quelques années d'exploitation la qualité de la fertilité des sols. Un suivi des rendements à l'hectare permettrait déjà d'avoir une bonne idée de l'évolution de la fertilité et de s'assurer ainsi de l'effet bénéfique des techniques introduites.

Développement local, sécurité et indépendance

Un des soucis qu'un observateur extérieur pourrait avoir suite à l'introduction de cette synergie concerne le risque que la population décide d'abandonner ses cultures vivrières pour produire uniquement la culture de rente [Fallot *et al.* 2007], qui leur rapportera plus d'argent, mais les met dans une situation de risque et de dépendance important.

Afin de protéger les paysans de ces travers, il était initialement prévu de limiter la surface de terre exploitée pour la production de biomasse à un certain pourcentage (entre 1% et 10% soit 0,5-1 ha sur 12 ha par ferme selon [Giraudy *et al.* 2007, p.21]). Cependant ce critère a été abandonné. En effet, la culture de rente et les techniques introduites sont prévues de manière complémentaire aux cultures vivrières, afin qu'elles se profitent l'une l'autre. Ainsi les paysans qui produisent des cultures de rente doivent en principe également produire des cultures vivrières. Il n'y a en conséquence pas de nécessité de limiter officiellement la quantité de biomasse produite.

Par ailleurs, les populations rurales dépendant essentiellement d'une agriculture peu productive ne cultivent jamais une seule culture [Abate *et al.* 2000; Glaetli 2005; Renaudin 2007; FAO 2009]. En effet, afin de se prémunir contre les différents risques climatiques, elles diversifient les cultures. Ainsi, il serait insensé pour elles de faire de la monoculture ou de ne cultiver qu'une culture de rente.

Mise en place du projet et création de confiance

L'entreprise AshakaCem souhaite mettre en place un projet de partenariat avec les paysans. Elle s'écarte donc de la vision paternaliste qu'elle avait utilisé jusqu'ici, dans laquelle elle cherchait à améliorer les conditions de vie de la population locale sans impliquer celle-ci. Elle lui fournissait l'eau, l'électricité, des écoles etc. sans rien demander en retour.

La vision nouvelle employée pour ce projet consiste à proposer une solution qui inclut la population locale en lui demandant de s'impliquer dans un partenariat économique, où chacun a des droits et des devoirs (dans la logique contractuelle).

Afin de mettre en place un tel projet, il est nécessaire d'utiliser des moyens participatifs. Cependant, cette notion de "participatif" peut être très différente suivant l'histoire culturelle. En Europe et dans les pays industrialisés et démocratiques, tels que le rapporte l'expérience d'Alcan au Canada [Labelle and Pasquero 2006], nous organisons des tables rondes, ateliers ou réunions où toutes les parties prenantes sont invitées à donner leur avis.

De telles techniques ne porteraient certainement pas les fruits attendus au nord du Nigéria. En effet, la notion de démocratie y est très différente. Et de tels ateliers ne permettraient pas d'obtenir des consensus. Pour pouvoir malgré tout obtenir la participation de la population locale, Lafarge a réalisé des consultations auprès des populations aux étapes clés du projet et mis en place un processus d'amélioration itérative en lançant une année pilote avec un petit nombre d'agriculteurs motivés, puis en augmentant graduellement le nombre de participants.

Le défi de ce projet est de faire naître un climat de confiance entre l'entreprise et les paysans et entre les paysans eux-mêmes, qui sera la base pour une dynamique de développement local. En effet, la situation actuelle est à la méfiance et l'individualisme, chacun cherchant à tirer son bénéfice où il peut, quitte à le faire au détriment de son voisin. Pour établir un nouveau climat de confiance dans la région, Lafarge souhaite donc établir un partenariat avec la population locale. Pour que la confiance s'installe, il faut que plusieurs éléments soient réunis, et en particulier:

- le respect mutuel
- la transparence à toutes les étapes, en particulier au sujet des contrats et des relations de pouvoir, notamment l'annonce avant la saison des pluies des quantités de biomasse et graines à huile nécessaires et des prix qui seront appliqués
- le respect des termes du contrat de part et d'autre (notamment le paiement au temps prévu des services et matières)
- le sentiment d'être pris au sérieux et considéré comme un interlocuteur de même niveau hiérarchique

Si le projet mis en place échouait, plusieurs risques existent :

- Epuisement du sol
- Monoculture et abandon des cultures vivrières
- Insatisfaction plus grande des paysans face à l'entreprise
- Plus grande dépendance de la population locale face à l'entreprise
- Relation de confiance non créée, et rivalité renforcée
- Insuffisance de la production vivrière locale

Cependant, au terme de la première année-pilote, les résultats sont très encourageants. L'engouement au sein des paysans est communicatif. Ils perçoivent une possibilité d'apprendre de nouvelles choses et de faire partie de leur propre développement local.

4.6. Evaluation et suivi de projet

Comme expliqué précédemment, les objectifs du projet sont:

- Economiques: Réduire les coûts de l'énergie et sécuriser l'approvisionnement
- Environnementaux: Réduire les émissions de gaz carbonique
- Sociaux: Stabiliser la sécurité régionale par la mise en place d'une dynamique régionale de développement.

Tout projet mis en place nécessite un suivi et une stratégie d'évaluation de l'atteinte des objectifs fixés. Pour le projet présent, les objectifs sont assez larges et ne sont pas chiffrés. Cependant, le groupe Lafarge possède un certain nombre d'indicateurs de suivi internes qui permettent de s'assurer de la bonne marche du projet. Ils permettent de juger du succès et de l'efficacité des mesures prises, et d'influencer les directions à prendre pour continuer le projet. Ainsi que le dit Robert McQuillan, du groupe "Economie des ressources naturelles" chez Lafarge, et responsable de la mise en place du projet, *"L'évaluation du succès économique du projet est relativement simple. Des indicateurs standards sont utilisés tels que "le taux de rendement interne", "temps de retour sur investissement", etc. La réduction de CO₂ peut également être traduite en un bénéfice économique direct et intégrée à ces calculs. Cependant le facteur économique n'est pas le seul ni le plus important du projet. L'impact sur la population locale est d'importance primordiale. Cependant, ces bénéfices sont difficiles à quantifier. Fournir des sources de revenus pour la population locale et développer des partenariats avec ces communautés, améliore indubitablement la sécurité autour de l'usine sur le long terme. Mais il n'est pas possible de donner une valeur financière à ceci.*

En résumé, une des raisons de ce projet est bien entendu la réalisation d'objectifs économiques. Mais la raison qui pousse Lafarge à réaliser ce projet est qu'il apportera des bénéfices pour les communautés locales en termes de dynamique de développement et aidera à sécuriser l'usine sur le long terme, ce qui simplifiera la vie de tous les jours, et pourra être jugé par la direction d'AshakaCem" [McQuillan 2009b, traduction personnelle].

Il y a donc des outils d'analyse et de suivi économique communément utilisés, de bonne qualité et reconnus en interne comme en externe. Le suivi économique se fait sur la base des objectifs fixés par l'étude de faisabilité. Un comité de pilotage est tenu plusieurs fois par année et vérifie les progrès réalisés [McQuillan 2009a].

L'évaluation des impacts sociaux est un point très important, mais très difficile à évaluer, comme le mentionne R. McQuillan. De plus, les effets des processus mis en place et de la dynamique enclenchée se feront sentir sur le long terme. Il est donc difficile de les évaluer en début de projet. En conséquence, Lafarge ne prévoit pas de définir de manière plus précise les objectifs sociaux attendus, ni d'effectuer de suivi de ceux-ci.

Si nous analysons ceci, cette non-évaluation laisse comprendre qu'au niveau de l'entreprise Lafarge, on considère que ce projet ne peut qu'être une réussite en ce qui concerne les aspects sociaux et sécuritaires locaux. Il n'est pas envisagé que les objectifs puissent ne pas

être atteints. L'appréciation (sous-entendue des résultats positifs) est laissée de manière vague aux dirigeants de l'usine d'AshakaCem.

Nous pouvons comprendre que cet aspect social ne fait pas partie des domaines d'action habituels de l'entreprise productrice de ciment. Elle est habituée à traiter des objectifs financiers, techniques et technologiques, de production et éventuellement des objectifs environnementaux. La gestion des aspects sociaux avec les populations locales n'est donc pas un domaine où elle est très à l'aise, bien que la gestion de ces relations soit généralement une question importante pour chacune des usines qu'elle possède dans le monde. Cependant, ces questions sociales sont au cœur des préoccupations courantes du groupe Lafarge, qui a mis en place une cellule spécialisée pour assister les unités opérationnelles dans ce sens.

Dans le cadre de son partenariat avec l'ONG "CARE", Lafarge a défini un axe de travail commun qui concerne le développement d'un outil d'évaluation de l'impact social et économique sur les communautés locales des actions mises en œuvre par le Groupe dans les pays émergents [Lafarge group 2009f]. Cet outil n'est donc pas encore utilisable pour l'évaluation de ce projet au Nigéria, mais pourra cependant être utilisé de manière rétroactive dans le but de tirer les enseignements du programme en place et de définir une stratégie d'action durable.

En ce qui concerne les aspects environnementaux, il s'agit pour le groupe cimentier Lafarge de réduire ses émissions de gaz carbonique afin notamment de respecter son engagement lié au protocole de Kyoto, en vue de diminuer son impact sur les changements climatiques tel qu'il l'a défini dans ses "Ambitions 2012" pour le développement durable [Lafarge group 2007a]. Si cet objectif est atteint, il serait également possible d'obtenir des crédits carbone en lien avec le Mécanisme de Développement Propre (MDP) et ainsi réduire la facture énergétique qui est actuellement une part très importante des frais de fonctionnement.

L'évaluation des effets environnementaux proposée par Lafarge dans le cadre de ce projet de symbiose est très sommaire et correspond aux impératifs internationaux posés par le protocole de Kyoto. La mesure et le calcul des réductions de gaz carbonique ne sont pas précisés et le délai pour atteindre cet objectif n'est pas précisé non plus.

Selon McQuillan [2009a], *"en se basant sur les critères de la méthodologie du MDP, le projet nigérian remplace du combustible fossile produisant du gaz carbonique par une biomasse neutre en émissions de carbone. Sachant la quantité de CO₂ émis par GJ de combustible fossile, il est donc très facile de déterminer la quantité de CO₂ non émise grâce à la substitution de combustible."* Cependant cette méthodologie d'allocation est vraie dans le cas d'utilisation de déchets agricoles. Dans le cas de notre étude, il y a une culture dédiée à la production de biomasse. La méthodologie doit donc être révisée. M. McQuillan pense qu'une Analyse du Cycle de Vie devra peut-être être réalisée pour estimer les émissions de carbone pendant la phase de production et de transport. L'utilisation de fertilisants chimiques et de pesticides n'étant pas prévue dans ce projet, Lafarge estime que le nombre

de crédits-carbone attribués ne devrait pas diminuer de manière importante [McQuillan 2009a].

La diminution des impacts environnementaux est un des objectifs principaux des Symbioses Industrielles. Il est donc important de vérifier que cette substitution de matière permet bien de les diminuer.

Dans son étude de faisabilité, Lafarge a défini deux objectifs environnementaux à réaliser : réduire les émissions de gaz carbonique et réduire la consommation d'énergie fossile. Dans une deuxième partie du projet [Giraudy *et al.* 2008, p.17], trois objectifs supplémentaires importants sont précisés, sans toutefois qu'une vérification de leur respect ne soit prévue:

- Ne pas accentuer le problème de la sécurité alimentaire, mais au contraire contribuer à le réduire,
- tout faire pour éviter qu'il y ait des intermédiaires afin de ne pas risquer de diminuer les bénéfices des organisations de paysans,
- ne pas ajouter de pression supplémentaire sur l'environnement.

Cela semble être une bonne première étape, mais n'est pas suffisant pour garantir un bilan environnemental positif. En effet, la réduction de l'impact sur les changements climatiques est l'un des multiples défis environnementaux à résoudre. Beaucoup de visibilité est donnée dernièrement à ce problème global, et il est important d'en tenir compte. Cependant d'autres problèmes globaux et locaux sont aussi importants et urgents à résoudre. C'est pourquoi un bilan environnemental plus large doit être réalisé afin de s'assurer que cette Symbiose Industrielle n'a pas d'effets collatéraux indésirables. Plusieurs critères supplémentaires devraient donc être respectés, en lien avec les enjeux environnementaux locaux.

Dans une région où la sécurité alimentaire n'est pas garantie, la production de biomasse agricole à brûler ne semble a priori justifiable que si elle garantit de conserver, voire d'améliorer la fertilité du sol tout en permettant de maintenir, voire d'améliorer la production céréalière alimentaire. Ceci doit donc être évalué spécifiquement.

De plus, un tel projet doit garantir d'avoir un effet neutre ou positif sur la santé des travailleurs et des agriculteurs. L'eau étant une ressource très rare et donc très précieuse, il est également important de garantir de ne pas mettre en péril la qualité et la quantité d'eau disponible (en surface et dans le sous-sol).

L'écosystème régional est déjà très pauvre, très fragile et largement mis à contribution par la population locale. La déforestation est très avancée et la marge qui le protège de la désertification est faible. De grands espaces sont déjà gagnés par la cuirasse latéritique, qui rend impossible toute culture. La qualité des écosystèmes doit donc être maintenue et la pression sur les ressources naturelles réduite ou en tout cas pas augmentée.

L'évaluation environnementale du projet est présentée au chapitre 5.

4.7. Conclusions

Ce chapitre a présenté les principaux éléments de la Symbiose Agro-Industrielle prévue par Lafarge au Nord du Nigéria.

Dans un contexte social tendu et suite à une politique d'aide régionale n'ayant pas apporté les fruits attendus, l'entreprise a décidé d'aborder les choses d'une nouvelle manière. Il s'agit d'une stratégie basée non plus sur l'aide ponctuelle financière et logistique, mais sur la création d'une relation partenariale avec la population locale.

Le projet s'est petit à petit mis en place, en passant par différentes étapes où la volonté et l'engagement de l'entreprise ont été nécessaires : définition des objectifs, dimensionnement du projet, contacts avec les paysans, planification financière des investissements nécessaires, mise en place des structures d'accompagnement et formation nécessaires, premières plantations en vue de faire une sélection des plantes les plus appropriées, production de semences, etc.

Malgré le très grand intérêt des dirigeants de l'usine pour ce projet de Symbiose Agro-Industrielle, l'existence d'autres projets en cours d'importance majeure limite sa capacité d'investir, ce qui retarde son avancée. Ainsi pour que le projet puisse quand même avoir lieu, une première phase-pilote a été réalisée avec des objectifs et des ressources limités. Le grand intérêt des paysans à participer à cette première phase est signe que le projet répond à un besoin local de participation à une stratégie évoluée de développement.

En effet, ce projet répond à un besoin important d'accès à un marché pour la vente de cultures de rente, ainsi qu'à des formations professionnelles. Au Nord du Nigéria, contrairement au reste de l'Afrique de l'Ouest, peu d'ONGs sont présentes. La population rurale a donc très peu d'occasions de réaliser de tels projets.

Si la mise en place de cette stratégie réussit, ce projet-pilote pourrait servir d'exemple à Lafarge pour de nombreux autres projets du même type dans les pays en développement. Afin de garantir que cette stratégie n'augmente pas la pression sur l'environnement local qui est déjà fragile, une évaluation environnementale est nécessaire et sera présentée au chapitre 5.

4.8. Bibliographie

Abate, T., van Huis, A. and Ampofo, J. K. O. (2000). "Pest Management Strategies in Traditional Agriculture : An African Perspective." *Annu. Rev. Entomol.* **45**: p.631-659

AshakaCem works (2006). *Annual report 2006*, Lafarge group

Bach, D. C. (2009a). *Nigeria*. *Encyclopédie Universalis*. France

Bach, D. C. (2009b). *Nigeria - Actualité*. *Encyclopédie Universalis*. France

- Bernard, D. (2007). "*Quand les déchets deviennent ressources.*" Crescendo, revue semestrielle du groupe Lafarge 4(nov 2007): p.20-25
- Bernard, D. (2008). *Personal Communication*. Paris
- Culot, M., Wilkinson, R., Guissou, B., Tranchant, P., Otto, M. and De Los Rios, E. (2007). *Table ronde n°6 : Biocarburants et équité énergétique. Conférence internationale : Enjeux et perspectives des biocarburants pour l'Afrique. 27-29 novembre 2007.* Ouagadougou
- Fallot, A., Krell, R., Sudipto, C., Jumbe, C., Thies, F., Kramar, M. and Dornburg, V. (2007). *Table ronde n°4 : Compétition alimentaire non alimentaire : enjeux et risques. Conférence internationale : Enjeux et perspectives des biocarburants pour l'Afrique. 27-29 novembre 2007.* Ouagadougou
- FAO (2009). *Small-Scale Bioenergy Initiatives : Brief description and preliminary lessons on livelihood impacts from case studies in Asia, Latin America and Africa.* , Prepared for PISCES and FAO by Practival Action Consulting, January 2009: 135
- Gaba, E. (2008). *Carte politique du continent africain avec légendes en français*, Wikimedia Commons. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:African_continent-fr.svg
- Giraudy, F. (2010). *Producing biomass in the Funakaye LGA. Biomass Pilot Projet Annual report*, Lafarge & Eco-carbone: 50
- Giraudy, F., Schwab Castella, P. and Blavot, C. (2007). *Optimizing energy balance of cement works and Improving population's living conditions. Opportunity study for AshakaCem and Lafarge.* Paris, Dagrís, Ecologie Industrielle conseil, Université de Lausanne: 40
- Giraudy, F., Wernert, R., Bawa, D., Bashir, I. Y., Boularabe, O. and McQuillan, R. (2008). *Toward a sustainable bio-energy project in Northeastern Nigeria. Feasibility study.* Paris, Lafarge & Dagrís/Geocoton: 72
- Glaettli, S. (2005). *Méthodes et outils pour faciliter l'échange de savoir entre spécialistes de conservation des eaux et sols et agriculteurs sur la gestion durable des sols au Niger, Afrique de l'Ouest. Une analyse ethnopédologique pour démontrer les différentes perceptions du sol. Diplomarbeit.* Bern, Universität Bern: 179
- Hashimoto, S., Fujita, T., Geng, Y. and Nagasawa, E. (2010). "*Realizing CO2 emission reduction through industrial symbiosis: A cement production case study for Kawasaki.*" Resources, Conservation and Recycling 54(10): p.704-710. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.11.013>
- Jodra, S. (2006). *L'histoire du Nigeria.* Imago Mundi, Encyclopédie en ligne. <http://www.cosmovisions.com/ChronoNigeria.htm>
- Kellenberger, D., Althaus, H.-J., Künniger, T., Jungbluth, N., Lehmann, M. and Thalmann, P. (2007). *Life Cycle Inventories of Building Products. Final report ecoinvent Data v2.0 No. 7.* Dübendorf, EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories: 914

- Künniger, T., Werner, F. and Richter, K. (2001). *Ökologische Bewertung von Kies, Zement und Beton in der Schweiz*. . Dübendorf, EMPA
- Labelle, F. and Pasquero, J. (2006). "Alcan et le "paRTenalisme" : les mutations d'un modèle de responsabilité sociale au cours du XX^e siècle." *Entreprises et Histoire* **Décembre 2006**(45): p.74-96
- Lafarge group (2007a). *Ambitions Développement durable 2012*, Lafarge: 4. http://www.lafarge.fr/05252007-press_themabook-Sustainability_Ambitions_2012-fr.pdf
- Lafarge group (2007b). *Informations sur Lafarge, extrait du rapport annuel et document de référence 2007*: 7
- Lafarge group (2007c). *Lafarge au Kenya et en Ouganda : un engagement durable. Dossier de presse, octobre 2007*. Paris, Lafarge: 25. www.lafarge.fr/10292007-press_themabook_group_finance-africa-fr.pdf
- Lafarge group. (2008). "Lafarge, En direct, information pour les journalistes." Retrieved 2008-02-12, from http://www.lafarge.fr/wps/portal/6_1-En_direct.
- Lafarge group. (2009a). "Cas pratique, Environnement. Malaisie - Valorisation énergétique de la biomasse." Retrieved 14.04.2009, from http://www.lafarge.fr/wps/portal/2_4_4_1-EnDet?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/Lafarge.com/AllCS/Env/NR/CP1610621923/CSFR.
- Lafarge group. (2009b). "Cas pratique, Environnement. Ouganda - Valorisation énergétique de la biomasse." Retrieved 14.04.2009, from http://www.lafarge.fr/wps/portal/2_4_4_1-EnDet?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/Lafarge.com/AllCS/Env/NR/CP1610621644/CSFR.
- Lafarge group. (2009c). "Cas pratique, Environnement. Philippines - Valorisation énergétique des balles de riz." Retrieved 14.04.2009, from http://www.lafarge.fr/wps/portal/2_4_4_1-EnDet?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/Lafarge.com/AllCS/Env/NR/CP1610621360/CSFR.
- Lafarge group. (2009d). "Communiqué de presse du 26 mars 2009 : Lafarge atteint son premier objectif de réduction de ses émissions de CO₂." Retrieved 14.04.2009, from http://www.lafarge.fr/03262009-press_sustainable_development-CO2_march_2009-fr.pdf.
- Lafarge group (2009e). *Lafarge en bref. Lafarge en 2008 : faits marquants et chiffres clés*. Paris, Lafarge: 8. http://www.lafarge.fr/04072009-publication_group-facts_and_figure_2008-fr.pdf
- Lafarge group (2009f) "Lafarge et CARE signent un nouveau partenariat, Dossier de presse, juin 2009." 15.
- Lafarge group (2010). *Rapport de développement durable 2009*. Paris, Lafarge group: 56

- Lefort, L. (2009). "Afrique." Statistiques mondiales Retrieved 08.04.2009, 2009, from <http://www.statistiques-mondiales.com/afrique.htm>.
- McQuillan, R. (2009a). *Personal communication. Email: Follow up indicators for Ashaka project, 11.6.09.* Lausanne
- McQuillan, R. (2009b). *Personal communication. Email: Follow up indicators for Ashaka project, 20.05.09.* Lausanne
- Meyer, P. (2007). *Personnal communication on the use of waste in the cement production.* AshakaCem
- Reijnders, L. (2007). "The Cement Industry as a Scavenger in Industrial Ecology and the Management of Hazardous Substances." Journal of Industrial Ecology **11**(3): p.15-25. <http://dx.doi.org/10.1162/jiec.2007.997>
- Renaudin, C. (2007). *Etude sur la vulnérabilité du paysannat cotonnier dans la région Est du Burkina Faso*, FARM et Université Paul Valéry - Montpellier 3: 87
- Routschka, G. and Granitzki, K.-E. (1997). *Refractory ceramics*. In Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry , (ed. Anonymous). 5th edition on CD-ROM Edition. London, Wiley & Sons.
- RSB (2009). *Principes et critères RSB pour la production durable de biocarburants.* Roundtable on Sustainable Biofuels. Lausanne, EPFL: 34
- Turbergue, J.-P. (1988). *Nigeria. La grande encyclopédie du monde : l'épopée des hommes, la géographie, la culture, l'histoire de tous les pays.* Vol. 11, Afrique Paris, Editions ATLAS **11**: 4838-4863
- van Oss, H. G. and Padovani, A. C. (2002). "Cement Manufacture and the Environment. Part I Chemistry and Technology." Journal of Industrial Ecology **6**(1): p.89-105
- Vennetier, P. (2009). *Kano. Encyclopédie Universalis.* France
- Wikimedia commons. (2009). "Atlas of Nigeria." Retrieved 18.05.2009, 2009, from http://commons.wikimedia.org/wiki/Atlas_of_Nigeria.

Chapitre 5

Analyse du Cycle de Vie d'une Symbiose Agro-Industrielle de substitution énergétique

5.1. Introduction

Ce chapitre traite de l'utilisation de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) dans les pays en développement. Le chapitre 4 présentait l'implémentation d'une Symbiose Agro-Industrielle au Nigéria. Il en découlait la nécessité d'une évaluation des impacts environnementaux.

Ce chapitre 5 présente l'Analyse du Cycle de Vie du projet de substitution envisagé par Lafarge. Il s'agit d'une application standard de l'outil tel qu'il est, sans prendre en compte le contexte socio-économique, c'est-à-dire comme si le projet avait lieu en Europe par exemple, mais avec les méthodes de cultures et autres caractéristiques propres au projet et considérées simplement comme des variables.

Dans la première partie (point 5.2), nous définirons le système, les scénarios, l'unité fonctionnelle, les hypothèses ainsi qu'un tableau résumant la qualité des données. Dans la seconde partie (point 5.3), les principaux résultats d'inventaire sont présentés et analysés. La troisième partie (point 5.4) porte sur les résultats d'impacts et leur analyse. Ce chapitre se termine sur l'interprétation de ces résultats, et sur une mise en perspective de leur signification (point 5.5).

Les résultats de l'analyse présentée dans ce chapitre 5 seront utilisés au chapitre 6 pour illustrer une critique de l'utilisation de l'Analyse du Cycle de Vie dans les pays en développement et proposer des pistes d'adaptation méthodologique.

5.2. Définition des objectifs et du système

La norme ISO14040 [ISO 2006] définit les étapes de réalisation d'une Analyse du Cycle de Vie. L'annexe 2 donne quelques détails sur les étapes et la structure d'une Analyse du Cycle de Vie. La première étape consiste à décrire les objectifs, fonction, unité fonctionnelle, scénarios, arbre des procédés. La seconde étape consiste à réaliser l'inventaire des émissions et des ressources consommées. La troisième étape consiste en l'analyse des impacts environnementaux qui y sont liés et la quatrième étape est l'interprétation qui intervient de manière itérative tout au long de l'analyse.

5.2.1. Objectif

L'objectif de cette ACV est de déterminer si l'utilisation de biomasse produite localement pour remplacer une partie (5%) du combustible fossile pour la production de ciment d'AshakaCem permet effectivement une diminution des impacts environnementaux globaux, sans mettre en péril la production alimentaire locale à long terme, ni provoquer d'impacts environnementaux locaux importants.

Situation actuelle

Le chauffage du four se fait à 100% avec du LPFO¹. Ce LPFO étant très visqueux, il doit être préchauffé à 220°C avec du diesel pour pouvoir être injecté dans le four et brûlé.

La cimenterie est composée de deux fours séparés et identiques. Pour simplifier les calculs, je pose comme hypothèse qu'ils participent chacun à la moitié de la production annuelle. Les chiffres du rapport interne de gestion 2006 de l'usine d'AshakaCem [AshakaCem works 2006] sont présentés au tableau 5.1, ainsi que le calcul de la production pour un des fours.

Tableau 5.1 : Production de ciment et consommation de carburant pour le chauffage en 2006 pour l'usine d'AshakaCem et pour un de ses fours.

	Usine d'AshakaCem	Un des deux fours (soit ½ du total)
Production de ciment	718'722 tonnes	359'361 tonnes
Consommation de LPFO	68'109 tonnes (= 2'326'759 GJ)	34'054 tonnes (= 1'163'380 GJ)
Consommation de diesel	658'391 litres (= 23'965 GJ)	329'196 litres (= 11'983 GJ)

L'objectif est d'étudier le remplacement de 10% de l'énergie thermique utilisée pour le four 2 par de la biomasse, soit 5% de l'énergie totale utilisée dans les fours. Ceci correspond aux objectifs du projet fixés par Lafarge dès la quatrième année.

Cette énergie est utilisée pour le préchauffage de la matière calcaire, à l'arrière du four [Giraudy *et al.* 2008, Table 26, p.45].² Les 10% correspondent à 116'338 GJ d'énergie thermique utile pour chauffer la poudre de calcaire, c'est-à-dire l'énergie thermique fournie par le LPFO, incluant un flux indirect de diesel nécessaire pour préchauffer le LPFO (et non le calcaire).

Comme le demande la norme ISO 14040, je précise ici que cette étude est destinée à un usage interne en vue d'identifier les limitations et problèmes rencontrés lors de l'utilisation de l'ACV pour l'évaluation d'un agrocarburant produit localement comme substitut d'un carburant fossile en Afrique de l'Ouest.

¹ LPFO signifie Low Pour Fuel Oil. Il s'agit d'un sous-produit du raffinage du pétrole qui s'apparente au coke de pétrole, et qui est de moindre valeur économique.

² Le choix a été fait de ne pas évaluer les objectifs fixés dès la cinquième année, qui consistent à remplacer 10% d'énergie des fours 1 et 2 par de la biomasse, plus 8% de l'énergie du four 2 par de l'huile issue des graines de Jatropha. Cela se justifie par le fait que pour atteindre les objectifs de la cinquième année, un investissement important est nécessaire pour mettre en place une huilerie et adapter le four à ce nouveau carburant. Ceci nécessite un effort logistique et financier important qui n'est pas encore garanti par l'entreprise et reste donc conditionnel. Ainsi, les objectifs fixés pour la quatrième année semblent plus sûrs et pourraient continuer d'être atteints sur le long terme.

5.2.2. Fonction et unité fonctionnelle

La fonction principale évaluée est la combustion et production de chaleur dans la tour de préchauffage du four de la cimenterie pour chauffer la matière (calcaire) et permettre la réaction chimique de clinkerisation.

Les fonctions secondaires du combustible étudié sont :

- 1) La fourniture d'éléments chimiques nécessaires à la composition du ciment.
- 2) La disponibilité du combustible sous une forme physique appropriée pour son insertion dans le four.

Un facteur limitant est l'excédant volumique de gaz produit par l'utilisation de biomasse. Selon Giraudy *et al.* [2008, p. 41], ce facteur fixe la limite supérieure de substitution du combustible par de la biomasse à 25%, dans les conditions actuelles. Un taux de substitution supérieur pourrait être atteint si la taille du ventilateur d'extraction était changée.

L'unité fonctionnelle utilisée est la suivante: extraire, préparer et utiliser 116'338 GJ d'énergie pour préchauffer le calcaire.

Ceci correspond environ à 10% de la chaleur totale utilisée dans un des deux fours pendant un an pour produire 359'361 tonnes de ciment (référence à l'année 2006).

5.2.3. Scénarios et limites du système

Les deux scénarios comparent l'utilisation de carburant fossile ou renouvelable pour fournir 10% de l'énergie nécessaire annuellement sur un des deux fours.

Dans les deux scénarios, le reste de l'énergie (soit 90%) est produit à partir de LPFO. Ceci étant identique dans les deux scénarios, cela n'est pas évalué spécifiquement, comme le définit la méthodologie de l'ACV³.

Les deux scénarios sont décrits ci-dessous plus en détail, les étapes prises en compte et les hypothèses étant précisées. L'arbre des procédés, représentant toutes les étapes prises en compte et les limites du système, est présenté à la figure 5.1. Un tableau de qualité des données est présenté au point 5.2.4 dans les tableaux 5.2 et 5.3.

Scénario 1

Le scénario 1 correspond à la situation initiale de référence et peut être décrit comme suit : **3'405 tonnes de LPFO + 32'920 litres de diesel, introduits à l'avant du four.**

Les étapes prises en compte sont :

- Extraction du pétrole
- Raffinage pour obtenir du diesel et du LPFO

³ En effet, l'ACV étant une évaluation relative et non absolue des impacts environnementaux potentiels, une des règles de définition des limites du système définit que ce qui est identique pour tous les scénarios peut être considéré comme hors des limites du système, et donc n'est pas évalué.

- Transport du lieu de raffinage à l'usine d'AshakaCem
- Stockage sur le site de l'usine
- Utilisation des carburants

Hypothèses :

- Le pétrole est extrait au Sud du Nigéria
- Le LPFO est considéré comme un déchet par l'industrie pétrolière, il a très peu de valeur économique. L'allocation pour le raffinage étant généralement faite de manière monétaire, une très petite partie de ce raffinage est à attribuer au LPFO.
- La capacité calorifique du LPFO ne se trouve pas dans les Handbooks, et n'est certainement pas constante. Partant des valeurs du rapport annuel d'AshakaCem, je déduis que le LPFO utilisé a une capacité calorifique moyenne (PCI) de 34.16 GJ/t.
- Le LPFO ne figurant pas dans les bases de données existantes, je l'assimile à du coke de pétrole, qui a une capacité calorifique similaire.
- Le transport du lieu de raffinage à l'usine d'AshakaCem se fait entièrement par camion-citerne.
- Pour la combustion du diesel, les émissions sont considérées similaires à celles du carburant léger (light fuel oil) selon Jungbluth [2007].

Scénario 2

Le scénario 2 peut être décrit comme suit :

7756 t de biomasse à 15 GJ/t (PCI). Ce carburant est introduit à l'arrière du four, avec la poudre de calcaire.

La biomasse utilisée provient de deux types de végétaux : des légumineuses (crotalaria, 15GJ/t), et des herbes hautes (herbe de vétiver ou *Gamba grass* en anglais, sous son nom scientifique *Andropogon gayanus*, 16 GJ/t) [Giraudy *et al.* 2008, Table 20 et 21 p.41]. Ces herbes et légumineuses sont séchées et broyées afin de pouvoir être introduites dans le four. Le projet prévoit d'utiliser des graines à huile (jatropha, 11 GJ/t) comme biomasse additionnelle durant les quatre premières années du projet, l'unité de pressage n'étant pas encore mise en place. Mais pour des raisons de simplification, le jatropha n'est pas pris en compte dans cette évaluation.

Le dimensionnement et les techniques culturales utilisées sont décrits au chapitre 4.

Les étapes prises en compte sont :

- la production et le transport de semences
- la culture (travail, semis, intrants, irrigation,...)
- la récolte
- le séchage, la mise en gerbes et l'entreposage sur place
- le transport par camion du village à l'usine
- la réception et mise en balle à l'usine

- le stockage
- le broyage fin
- le stockage de régularisation en silo, le dosage et l'injection
- l'utilisation (combustion).

Hypothèses :

- Les semences sont produites à AshakaCem dans la ferme de démonstration, sur 0,5 ha.
- 10 kg de semences sont nécessaires pour 100kg de biomasse récoltée.
- Pertes : je considère une perte de 5% en masse pour la biomasse entre la récolte et la mise dans le four. Ces pertes sont dues à deux causes. La première est que la biomasse récoltée est humide et qu'elle est séchée pour être utilisée. La deuxième raison provient des pertes liées au transport et au chargement. Il faut donc 8144 tonnes de biomasse produite pour que l'usine de ciment en obtienne 7756 tonnes au final.
- Surface nécessaire : avec un rendement moyen de 720 kg/ha (et considérant un taux d'occupation du sol pour la production de biomasse de 38% selon calcul au chapitre 4), il faut 11'311 ha pour produire 8144 tonnes de biomasse.
- Eau consommée : je considère que 100% de l'eau de pluie qui arrive sur la surface utilisée par la plante est attribuée à l'utilisation par la plante. En effet, cette hypothèse se justifie par le fait que l'eau est soit utilisée par la plante, soit évaporée, ou encore elle s'infiltre dans le sol et elle n'est plus disponible pour un autre usage. Ainsi, l'eau de pluie consommée équivaut à $700 \text{ mm} * 11'311 \text{ ha} * 100 \text{ m/ha} * 100 \text{ m} * 38\% = 30'087'260 \text{ m}^3$.
- Exportation de matière : la plante puise dans plusieurs ressources pour croître (eau, air, énergie solaire et sol). Je considère que 50% de la masse de la plante provient de la matière du sol, soit 4072 t pour notre unité fonctionnelle.
- Je considère que la plante contient de l'énergie renouvelable sous forme de biomasse. Cette énergie est de 15 GJ/t et correspond à la valeur calorifique inférieure.
- Consommation de CO₂ : la consommation de CO₂ pour la croissance de la plante est également estimée en se basant sur des processus Ecoinvent similaires, en se basant sur la quantité de carbone contenue dans la matière sèche. J'estime que 100% de ce carbone provient de l'atmosphère.
- Il n'y a pas de perte thermique au moment de l'introduction du carburant dans le four.
- Le séchage se fait par entreposage au soleil en plein air, il n'y a donc pas de consommation d'énergie fossile pour cela.
- Transports : je considère que les camions utilisés pour transporter la biomasse sont des camions de 35 m³, soit de la catégorie 12-19 tonnes, répondant aux normes environnementales EURO3. Avec ces valeurs, je sous-estime certainement un peu les émissions, car nous pouvons raisonnablement supposer que les camions utilisés sont trop vieux pour satisfaire ces normes-là, qui par ailleurs ne sont pas en vigueur au Nigéria.

Données et informations :

- Il n'y a pas d'intrant chimique (ni fertilisant, ni pesticide chimique).
- Il n'y a pas d'irrigation.
- La culture se fait à la force humaine et animale. Pas de machines utilisées dans les villages.
- La distance de transport est en moyenne de 20km.

Les arbres des procédés des deux scénarios et les limites du système sont présentés à la figure 5.1.

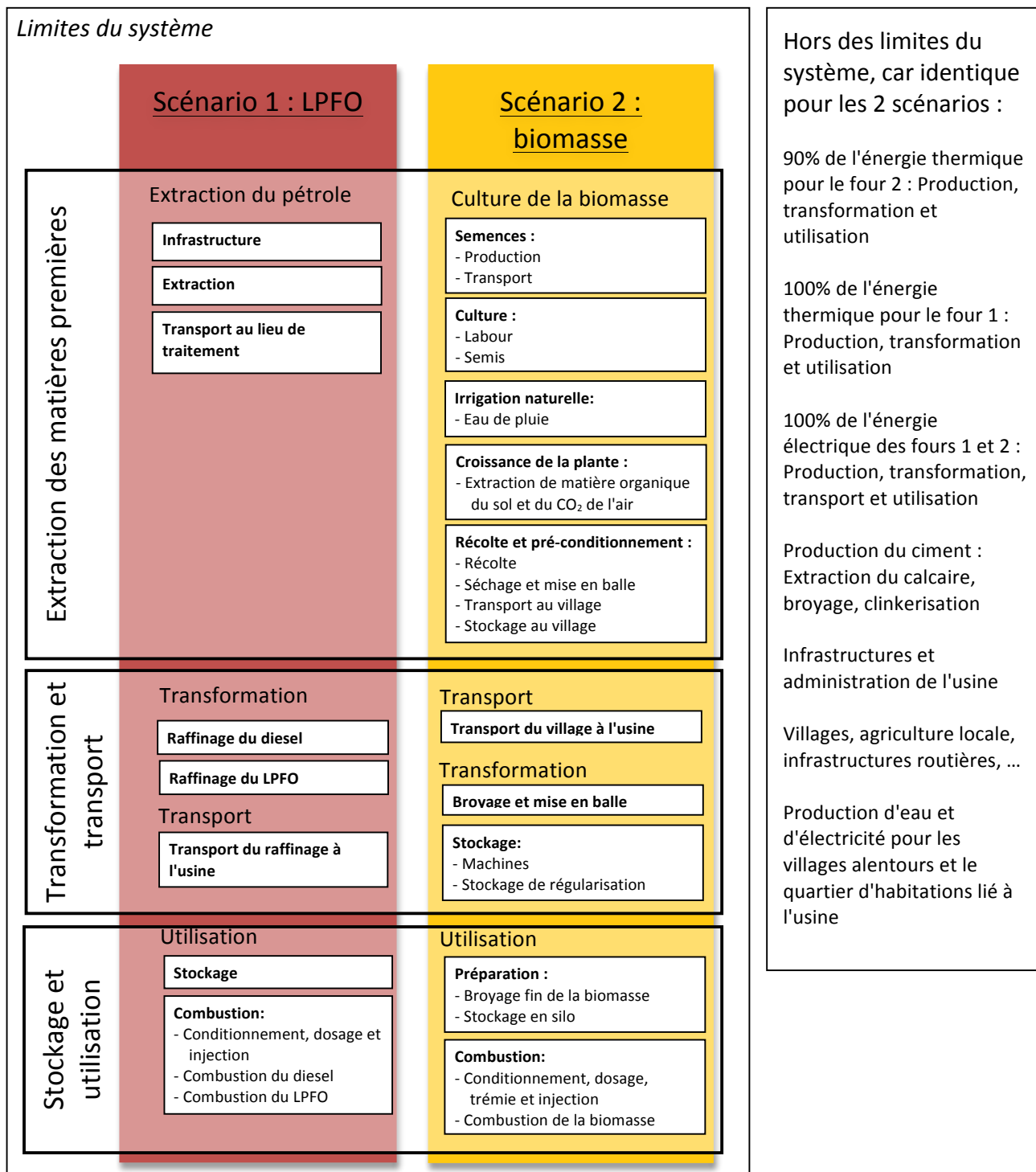


Figure 5.1: Limites du système pour le remplacement de LPFO par de la biomasse (arbre des procédés)

5.2.4. Tableaux des données et de la qualité des données

Dans ce paragraphe, je donne le détail des données utilisées pour construire l'inventaire du cycle de vie de chacun des scénarios. Je mets en relation les données telles que décrites dans l'arbre des procédés (soit les flux réels) avec les données issues de bases de données utilisées, et donne pour chaque donnée une indication de :

1. La précision de la quantité : Pour chaque flux de matière nécessaire au cycle de vie d'un scénario, j'ai déterminé une quantité de matière utilisée sur la base des informations à ma disposition. Cette information révèle la manière dont cette donnée a été obtenue, ce qui nous donne une indication de sa précision : quantité connue/mesurée (++), calculée (+), estimée sur la base d'informations précises (0) ou estimée sans information (-).
2. L'adéquation entre la donnée utilisée (base de données) et la réalité (flux réels) : Pour chaque flux de matière réel, j'ai choisi une donnée d'inventaire. Une partie de ces données d'inventaire provient d'une base de données génériques, une autre partie a été adaptée à partir de données génériques et une dernière partie a été construite de toute pièce sur la base d'une mesure spécifique. Cette information révèle le degré de correspondance entre la donnée d'inventaire utilisée pour la modélisation et le flux réel. Elle précise ainsi si la donnée utilisée correspond exactement à la réalité (++), s'il s'agit d'une donnée proche (+), ou s'il s'agit d'une donnée éloignée qui pourrait correspondre grossièrement à la réalité (-).
3. La qualité de la donnée d'inventaire : Comme indiqué précédemment, les données d'inventaire utilisées proviennent de plusieurs sources possibles, et ont été récoltées de plusieurs manières (calcul, mesure, déduction,...). Toutes ces manières ne donnent pas une qualité identique d'inventaire. Cette information révèle la qualité de l'inventaire, en général fournie dans les métadonnées de la base de données, et spécifie s'il s'agit d'une mesure (++), d'un calcul (+), d'une déduction suite à une allocation (0) ou d'une estimation (-).

Le tableau 5.2 indique le détail des données utilisées pour le *scénario 1, LPFO*, ainsi que leur qualité.

Le tableau 5.3, scindé en trois parties, indique le détail des données utilisées pour le *scénario 2, Biomasse*, ainsi que leur qualité.

Scénario 1, LPFO**Tableau 5.2 : Table de qualité des données pour le scénario 1 : LPFO pour chauffage**

Etape du cycle de vie	Procédé unitaire (flux réel)	Quantité	Nom de la donnée d'inventaire utilisée	Source de la donnée d'inventaire	1. Précision de la quantité	2. Adéquation BDD – réalité	3. Qualité de la donnée	Commentaire
Extraction des matières premières	Production et acheminage du LPFO à AshakaCem	3405 t	Petroleum coke, at cement plant /NG	(b)	+	0+	+	Sélection uniquement du petroleum coke produit au Nigéria, et adaptation des données "transport". Inclut l'extraction du pétrole, le transport au lieu de raffinage, le raffinage et le transport au lieu d'utilisation.
	Production et acheminage du diesel à AshakaCem	32'920 l	Diesel, at cement plant /NG	(b)	+	0+	+	Sélection uniquement du diesel produit au Nigéria, et adaptation des données "transport". Inclut l'extraction du pétrole, le transport au lieu de raffinage, le raffinage et le transport au lieu d'utilisation.
Utilisation	Combustion du diesel	1198 GJ	Combustion of diesel /NG	(b)	+	0+	+	Adapté de "light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating/CH", sans le combustible -> uniquement combustion
	Combustion du LPFO	116'338 GJ	Combustion of LPFO /NG	(b)	+	0+	+	Adapté de "Heavy fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating/RER". Cette donnée n'inclut que les émissions liées à la combustion du LPFO.

Remarques : BDD signifie "base de données".

Les valeurs peuvent être -, 0, +, ++, spécifiant une qualité "insuffisante" jusqu'à "très bonne".

(a): Inventaire d'Ecoinvent 2.0, (b): Inventaire modifié à partir d'Ecoinvent 2.0, (c): Inventaire mesuré.

Scénario 2, biomasse**Tableau 5.3 (partie 1): Table de qualité des données pour le scénario 2 : Biomasse pour chauffage**

Etape du cycle de vie	Procédé unitaire (flux réel)	Quantité	Nom de la donnée d'inventaire utilisée	Source de la donnée d'inventaire	1. Précision de la quantité	2. Adéquation BDD – réalité	3. Qualité de la donnée	Commentaire
Extraction des matières premières	Semences : Production de semences de Gamba Grass (herbes)	407 t	grass seed organic, at regional storehouse/kg/CH	(a)	0	-	++	Hypothèse : 10 kg de semences nécessaire pour 100 kg de biomasse récoltée. 50% herbes, 50% légumineuses. Climat et techniques de cultures ne sont pas identiques ni proches entre la base de données(bdd) et la réalité.
	Semences : Production de semences de Crotalaria (légumineuse)	407 t	pea seed organic, at regional storehouse/kg/CH	(a)	0	-	++	Hypothèse : 10 kg de semences nécessaire pour 100 kg de biomasse récoltée. Climat et techniques de cultures ne sont pas identiques ni proches entre la bdd et la réalité.
	Semences : Transport au lieu d'utilisation	16280 tkm	Transport, lorry 7.5-16 t, EURO3/RER	(a)	++	+	++	Transport AshakaCem – Villages =20 km en moyenne 20 km*814 t = 16'280 tkm
	Culture : Labour et semis	0 GJ	-					Pas d'énergie fossile consommée. Energie humaine et animale.
	Irrigation naturelle : pluie	30'087'260 m ³	Water, unspecified natural origin/m ³	(c)	+	++	++	Hypothèse : 700 mm d'eau par an, sur 11311 ha, utilisés à 38% pour la production de biomasse. Hypothèse: toute l'eau est utilisée par la plante (ou évaporée ou s'écoule), sans pouvoir être utilisée d'une autre manière. 0,7 m*100 m*100 m* 11'311 ha*38%= 30'087'260 m ³ .

(a): Inventaire d'Ecoinvent 2.0, (b): Inventaire modifié à partir d'Ecoinvent 2.0, (c): Inventaire mesuré.

Tableau 5.3 (partie 2): Table de qualité des données pour le scénario 2 : Biomasse pour chauffage

Etape du cycle de vie	Procédé unitaire (flux réel)	Quantité	Nom de la donnée d'inventaire utilisée	Source de la donnée d'inventaire	1. Précision de la quantité	2. Adéquation BDD – réalité	3. Qualité de la donnée	Commentaire
Extraction des matières premières	Croissance de la plante: occupation du sol	4'298 ha	Surface pour la culture de biomasse	(c)	+	++	++	Hypothèse : utilisation 38% de 11311 ha (cf. calcul ch.4). Données d'inventaires pour 8ha: - 0.35 ha Transformation, from arable, non-irrigated. - 0.65 ha Transf., from arable, non-irrigated, fallow. - 1 ha Transf. to arable, organic - 1 ha Occupation, arable, organic
	Croissance de la plante: extraction (=> exportation) de matière organique du sol	4072 t	Ground, unspecified, in ground	(c)	-	-	++	La plante nécessite plusieurs ressources pour croître : eau, air, énergie solaire et sol. Hypothèse : 50% de la masse de la plante provient de la matière du sol. (Hypothèse sans référence)
	Croissance de la plante : autres éléments	8144 t	Croissance herbes hautes et croissance crotalaria	(b)	-	+	+	Considère l'énergie, le CO ₂ ainsi que les nutriments (N ₂ , matière organique) consommés et émis, sur la base des données "grass from natural meadow extensive organic" et "protein peas, organic"
	Récolte	0 GJ	-					Pas d'énergie fossile. Energie humaine et animale
	Séchage, mise en balle manuelle	0 GJ	-					Pas d'énergie fossile. Energie humaine et animale
	Transport au lieu de rassemblement	0 GJ	-					8144 t de biomasse à transporter à dos d'homme sur 7 km en moyenne (Hypothèse) = 57'008 tkm. Fuel : Energie humaine ou animale
	Stockage au village	1629 ha	Occupation, urban, discontinuously built (0.5ha a /ha)	(c)	0	+	++	Hypothèse : 1ha/5 t Hypothèse : le sol est occupé 6 mois par an pour le stockage

(a): Inventaire d'Ecoinvent 2.0, (b): Inventaire modifié à partir d'Ecoinvent 2.0, (c): Inventaire mesuré

Tableau 5.3 (partie 3): Table de qualité des données pour le scénario 2 : Biomasse pour chauffage

Etape du cycle de vie	Procédé unitaire (flux réel)	Quantité	Nom de la donnée d'inventaire utilisée	Source de la donnée d'inventaire	1. Précision de la quantité	2. Adéquation BDD – réalité	3. Qualité de la donnée	Commentaire
Transformation	Transport du village à l'usine	162'880 tkm	Transport, lorry 7.5-16 t , EURO3/ RER	(a)	++	+	++	Transport Villages -AshakaCem = 20 km en moyenne, 8144 t de biomasse (5% de perte hypothèse)
	Réception usine	400 m ²	Occupation, urban, discontinuously built (0.5ha a /ha)	(c)	++	+	++	Espace de réception : 400 m ² de surface dure pour les balles
	Broyage et mise en balle	11'707 part.	Baling, CH	(a)	+	+	++	Trois machines de mise en balle. Selon Ecoinvent, il faut 0.0014375 "baling" pour 1 kg de paille. => 8144*1000* 0.0014375=11'707 Cette donnée inclut la toile, les machines et leur consommation d'énergie
	Machines stockage	50'901 part.	Loading bales/CH	(a)	+	+	++	Trois tracteurs. Selon Ecoinvent, il faut 0.0062501"loading bales" pour 1 kg de paille. => 8144*1000*0.0062501=50901p. Cette donnée inclut les machines et leur consommation d'énergie pour le déplacement des balles.
	Stockage de régularisation	130'000 m ²	Occupation, urban, discontinuously built (0.5ha a /ha)	(c)	++	+	++	[Giraudy <i>et al.</i> 2008, p.44]
Utilisation	Broyage de la biomasse	16000 kg	Industrial machine, heavy, unspecified, at plant /RER	(a)	0	0	+	Machine (400'000 kg) et son utilisation sur un an (1/25) 400000/25=16000 kg
	Stockage en silo	1000 m ²	Dried roughage store, non ventilated/CH/I	(a)	++	+	++	Jusqu'à l'an 4, utilisation d'un silo de 1000 m ³ . Ref [Giraudy <i>et al.</i> 2008, p.45]
	Conditionnement: Dosage, trémie et injection	16000 kg	Industrial machine, heavy, unspecified, at plant /RER	(a)	0	0	+	Machine (400'000 kg) et son utilisation sur un an (1/25) 400000/25=16000 kg
	Combustion de la biomasse	116'338 GJ	Combustion biomasse	(b)	+	0	++	Correspond à 7756 t Cette donnée n'inclut que les émissions de la combustion de la biomasse. Emissions adaptées de la donnée "Pellets, mixed, burned in furnace 50kW/MJ/CH"

(a): Inventaire d'Ecoinvent 2.0 (EI), (b): Inventaire modifié à partir d'Ecoinvent 2.0, (c): Inventaire mesuré

J'observe, en remplissant ces tableaux de qualité des données, que de nombreuses données génériques manquent dans les bases de données existantes pour modéliser les scénarios définis. En effet, les données propres au contexte des pays en développement sont peu nombreuses dans ces bases de données.

Concernant la précision de la quantité, j'observe que, comme pour tout projet en cours d'implémentation, de nombreuses incertitudes existent. En effet, à cette étape du projet, il n'est parfois pas possible d'avoir des quantités précises, les procédés n'étant pas encore réellement mis en place. Cela me permet d'identifier les données dont l'importance devra être vérifiée au cours de l'analyse.

Concernant l'adéquation entre la base de données et les flux réels, j'observe qu'elle est médiocre. En effet, comme très peu de données sont disponibles dans les bases de données en raison du contexte et du climat, un grand nombre de flux a dû être modélisé par une donnée générique plus ou moins proche, et adapté au mieux au contexte. Il est important de garder cette observation en mémoire en vue de l'analyse des résultats.

Concernant la qualité des données d'inventaire utilisées, elle est globalement bonne à très bonne. En effet, la majorité des inventaires génériques utilisés a été réalisée à partir de mesures et de calculs. Nous pouvons donc avoir une bonne confiance en ces données.

5.3. Résultats d'inventaire

L'inventaire des substances émises et consommées est présenté ici, sous forme d'une sélection de substances significatives dans notre situation. Il s'agit de :

- l'eau consommée,
- l'énergie primaire non renouvelable consommée,
- et les émissions de gaz carbonique.

Un bilan de la matière exportée des sols pour générer la biomasse pourrait également être intéressant, mais n'est pas réalisé ici par manque d'information sur ce point.

5.3.1. Bilan de l'eau consommée

J'observe que sur la base des hypothèses faites, le cycle de vie du scénario utilisant de la biomasse consomme environ 16 fois plus d'eau que le scénario actuel de LPFO, comme nous pouvons le voir au tableau 5.4 et à la figure 5.2.

Tableau 5.4 : Bilan de l'eau consommée

	Scénario 1 : LPFO	Scénario 2 : Biomasse
Quantité d'eau totale consommée pour le cycle de vie [m ³]	1'986'457	33'246'508
Pourcentage relatif par rapport au scénario de référence (Sc1)	100 %	16'740 %

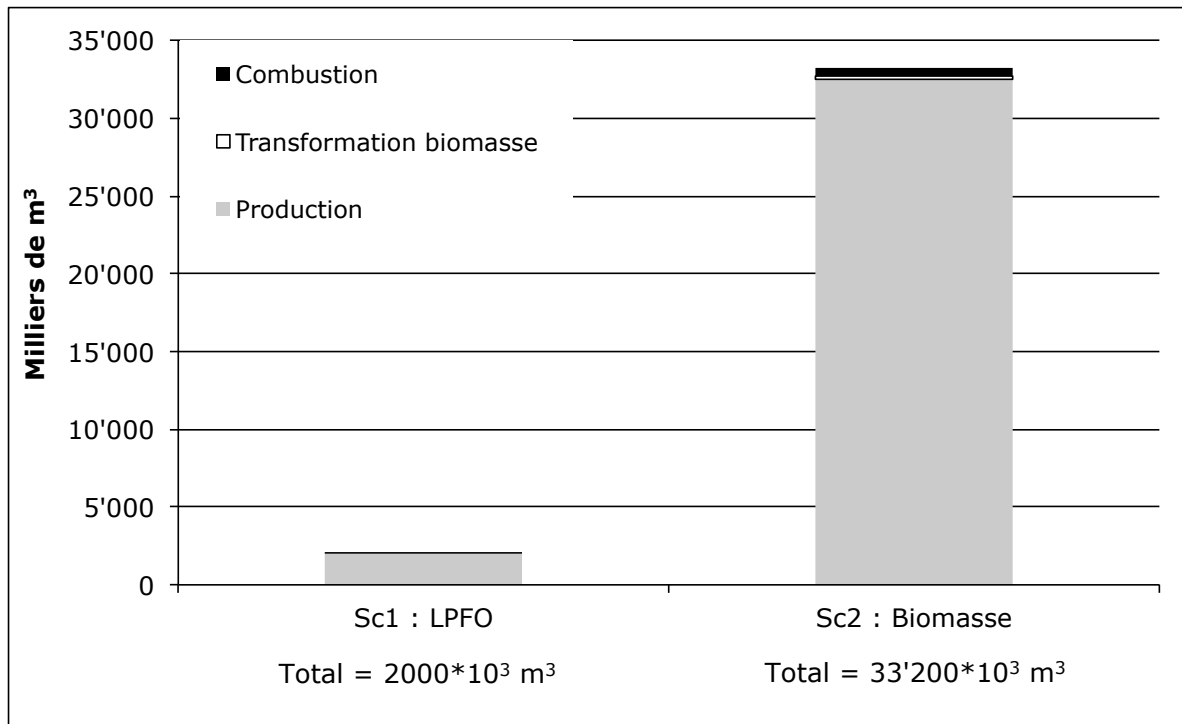


Figure 5.2 : Bilan de l'eau consommée

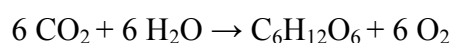
Dans le scénario 1, l'eau consommée est essentiellement prise dans une région où elle est présente en abondance, au sud du Nigéria.

Pour le scénario 2, ces consommations d'eau sont en majeure partie utilisées pour la croissance de la plante. Il s'agit de l'eau de pluie. Ce résultat est directement dépendant d'une hypothèse d'allocation importante, à savoir que 100% de l'eau de pluie qui arrive sur la plante est attribuée à l'utilisation par la plante. Ce résultat dépend donc également de la surface utilisée pour la culture de biomasse. Comme calculé au chapitre 4, cette valeur est de 38% de 11'311 ha. Nous pouvons considérer que ceci représente le scénario maximum.

Cela m'amène à faire une étude de sensibilité de cette hypothèse importante. Je détermine la consommation d'eau minimale en considérant que l'eau nécessaire est constituée par l'eau contenue dans la biomasse, plus l'eau nécessaire pour la photosynthèse.

Je pose l'hypothèse que la biomasse produite est composée de 20% d'eau, valeur qui peut être considérée comme élevée dans le contexte considéré. Ainsi, la biomasse contiendrait 20% de 8144 t d'eau, soit 1629 t d'eau ou 1629 m³.

Pour le calcul de l'eau nécessaire pour la photosynthèse, je me base sur l'équation stœchiométrique suivante, représentant la photosynthèse :



La biomasse peut être assimilée au $C_6H_{12}O_6$. Le calcul détaillé se trouve en annexe 4. Nous obtenons comme résultat que par la photosynthèse la plante consomme au minimum 4'886 m³ d'eau pour sa croissance.

Au total, 1629 + 4886 m³ d'eau, soit **6'515 m³** d'eau sont consommés au minimum pour produire et utiliser la biomasse.

Nous avons donc les résultats d'inventaire présentés au tableau 5.5.

Tableau 5.5 : Inventaire de la consommation d'eau, avec étude de sensibilité pour le scénario 2.

	Scénario 1 : LPFO	Scénario 2 : Biomasse (quantité maximale basée sur la quantité d'eau de pluie tombant sur la surface occupée)	Scénario 2 : Biomasse (quantité minimale basée sur 20% de la masse de la biomasse + la quantité d'eau nécessaire pour la photosynthèse)
Inventaire de l'eau consommée [m ³]	1'984'457	33'246'508	6'515

En comparant la quantité d'eau utilisée par la biomasse dans le scénario 2 à la quantité d'eau disponible, nous nous rendons compte que la plante n'en consomme qu'une infime partie : $6515 \text{ m}^3 / 33'200'000 \text{ m}^3 = 0,02\%$

Ainsi, ce n'est pas tant la quantité totale d'eau consommée par année qui est importante, mais surtout sa disponibilité sous une forme adéquate au moment adéquat.

Certains auteurs ont défini un cadre spécifique pour analyser la quantité d'eau utilisée en fonction de sa disponibilité, qui décrit le besoin de trois indicateurs intermédiaires: la perte d'eau pour l'usage humain, la perte d'eau pour les écosystèmes et la diminution de l'eau de surface [Bayart *et al.* 2010]. Pour la perte d'eau utilisée pour les activités humaines, Boulay *et al.* [2009] ont défini un indicateur qui va dans le sens d'une régionalisation de l'ACV comme le proposent Humbert *et al.* [2009]. Cet indicateur régional est notamment fonction de la distance à un point d'eau et de la rareté régionale en eau. La rareté de l'eau a été définie selon les statistiques de pluviométrie nationale rapportées par la FAO. Cependant, je constate que pour l'Afrique de l'Ouest, ces statistiques sont encore très peu précises et ne donnent pas une bonne vision du contexte régional pour deux raisons. La première est que dans les pays sahéliens, l'ensemble de la pluviométrie annuelle a lieu dans une courte période de temps. Elle n'est donc pas disponible en continu, et difficile à capter. La seconde raison est que le Nigéria et de nombreux autres pays de cette région, mais également d'autres pays comme les Etats-Unis, couvrent des zones climatiques très différentes, où la pluviométrie annuelle peut être très variable.

L'indicateur proposé est donc une première tentative intéressante de régionaliser les indicateurs liés à la quantité d'eau. Il n'est cependant pas vraiment adapté à l'Afrique de l'Ouest, et des recherches allant dans ce sens continuent au sein d'instituts de recherche comme le CIRAIG au Canada.

5.3.2. Bilan de l'énergie primaire non renouvelable consommée

Nous nous intéressons ensuite au bilan de l'énergie primaire non renouvelable consommée pour le cycle de vie de nos scénarios. Les résultats sont présentés à la figure 5.3 et au tableau 5.6.

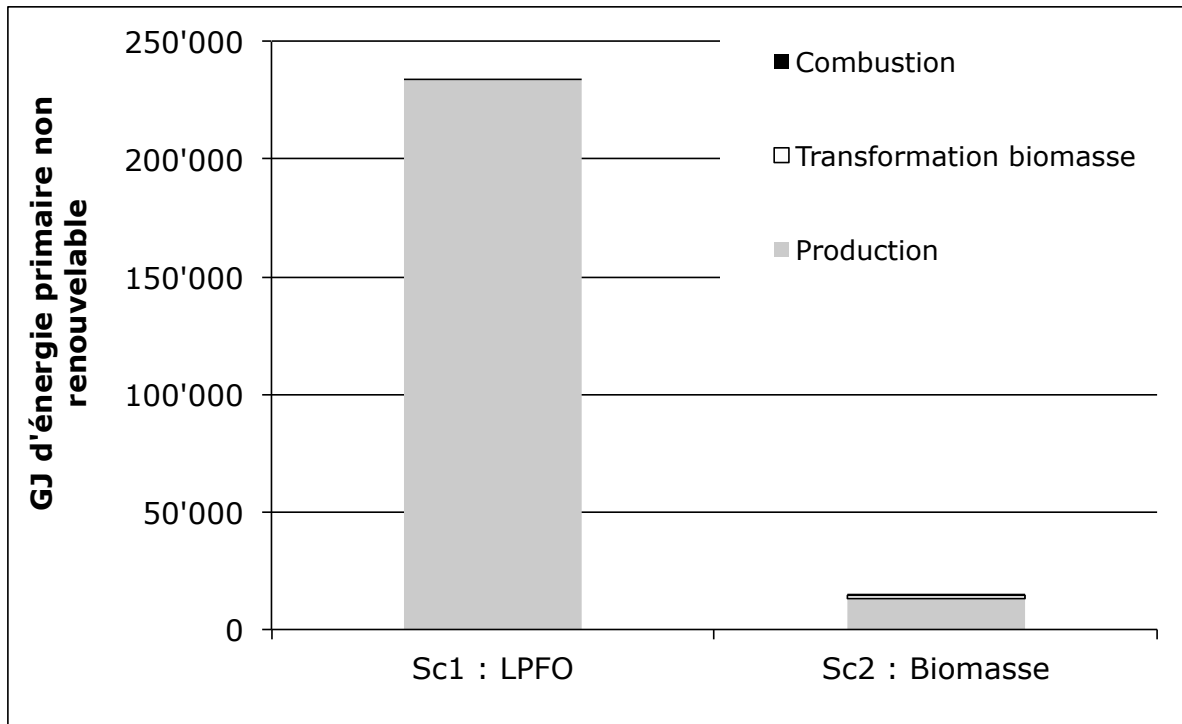


Figure 5.3 : Bilan des énergies primaires non renouvelables consommées

La figure 5.3 montre que la consommation d'énergie primaire non renouvelable est environ 18 fois plus importante pour le scénario utilisant l'énergie fossile LPFO pour chauffer les fours de la cimenterie. Ce n'est pas un résultat surprenant, sachant qu'aucun moyen mécanique, ni fertilisation, ni traitement pesticide, n'est utilisé pour la culture de biomasse. L'énergie est principalement consommée pour l'extraction, la production et le transport du vecteur énergétique.

L'énergie, qu'elle soit renouvelable ou non renouvelable est une ressource difficile d'accès dans ces zones rurales. C'est pourquoi il est également intéressant de faire une étude de sensibilité de la consommation de cette ressource, en évaluant l'énergie totale renouvelable et non renouvelable consommée. C'est ce que montre la figure 5.4, dont les chiffres sont rapportés au tableau 5.6. Cette figure représente sous "énergie renouvelable", l'énergie contenue dans la biomasse, sans compter l'énergie solaire que la plante a consommé pour produire cette biomasse, ni l'énergie humaine qui a été fournie pour les travaux liés à la culture, cette énergie n'étant pas comptabilisée dans les bases de données d'ACV.

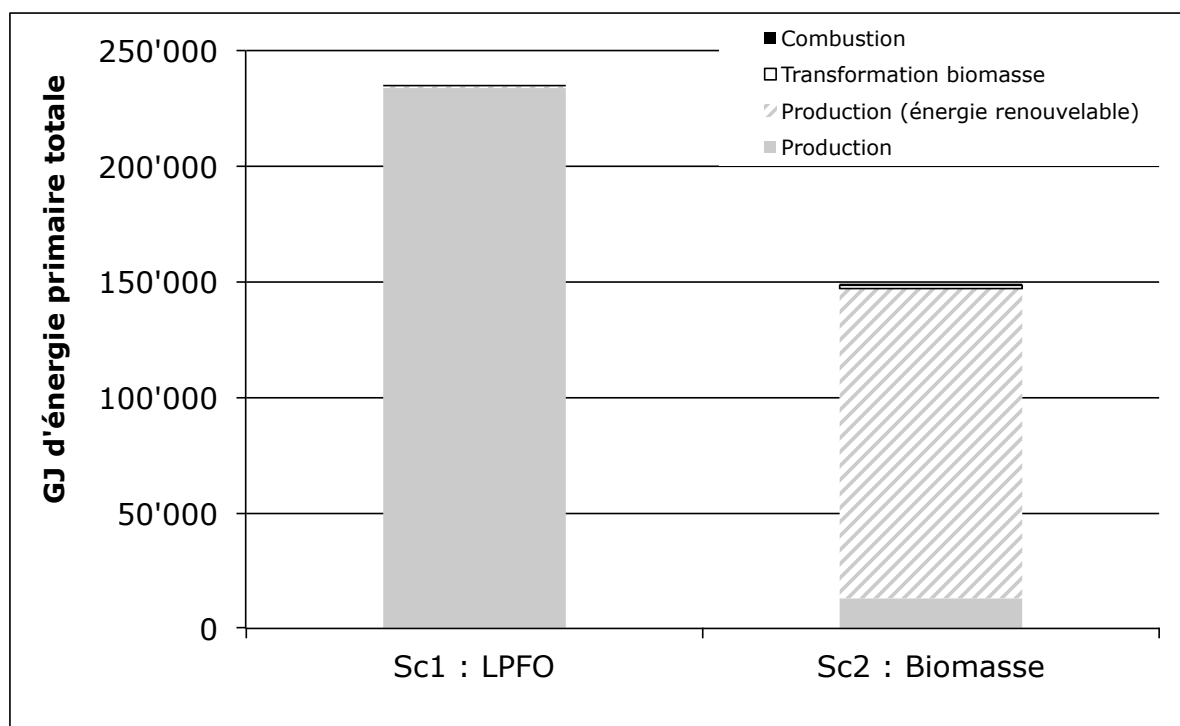


Figure 5.4 : Bilan des énergies primaires totales consommées (renouvelables + non renouvelables)

Tableau 5.6 : Bilan énergétique

	Scénario 1 : LPFO	Scénario 2 : Biomasse
Bilan d'énergie primaire non renouvelable consommée [GJ]	233'915	15'089
Pourcentage relatif d'énergie primaire non renouvelable par rapport au scénario de référence (Sc1)	100 %	6.5 %
Bilan d'énergie primaire totale (renouvelable et non renouvelable) consommée [GJ]	234'273 (dont 358 GJ renouvelables)	150'046 (dont 134'957 GJ renouvelables)
Pourcentage relatif d'énergie primaire totale (renouvelable et non renouvelable) par rapport au scénario de référence (Sc1)	100 %	64 %

Ceci nous permet d'observer que la production de biomasse consomme environ 35% d'énergie totale en moins que la production de LPFO.

5.3.3. Bilan des émissions de dioxyde de carbone (CO₂)

Le bilan des émissions de dioxyde de carbone est présenté à la figure 5.5 et au tableau 5.7. Il montre que les deux scénarios sont à peu près similaires. Ce bilan additionne les émissions de carbone fossile et les émissions de carbone biogénique (ce qui signifie "qui est d'origine animale ou végétale"). Le CO₂ émis lors de la combustion est proportionnel au carbone contenu dans le carburant. La donnée exacte pour la combustion d'herbes de vétiver et de crotalaria n'existant pas dans Ecoinvent, cette valeur a été adaptée à partir de la combustion de copeaux de bois. Il y a donc une petite erreur possible sur cette valeur, mais l'ordre de

grandeur reste le bon, car la proportion de carbone par kilogramme de biomasse sèche est du même ordre de grandeur.

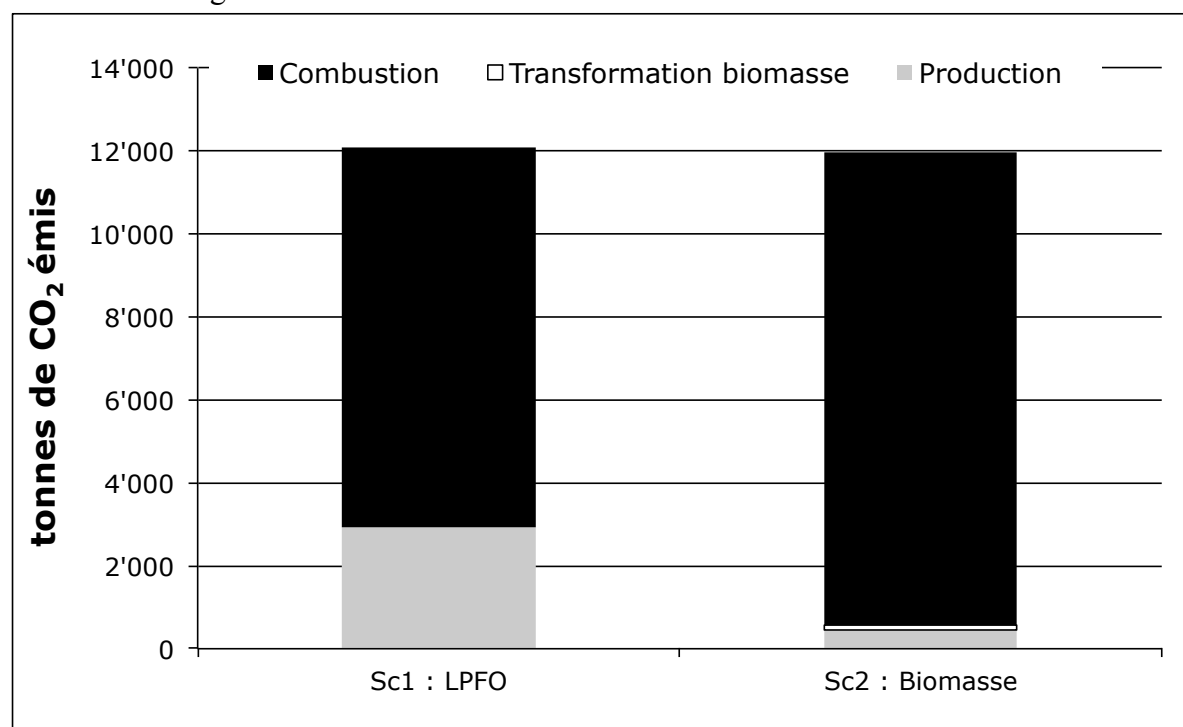


Figure 5.5 : Bilan des émissions de dioxyde de carbone

Cependant, pour croître, les plantes et la biomasse consomment du CO₂ biogénique qu'elles transforment en oxygène afin de stocker le carbone, qui est un de leurs éléments constitutifs. Il est donc intéressant de faire le bilan total du CO₂ consommé et du CO₂ émis, comme le proposent également Rabl *et al.* [2007]. Dans ce court article, Rabl *et al.* insistent sur la nécessité de compter toutes les émissions et consommations de CO₂ fossiles et biogéniques, en dépit d'une pratique communément admise qui est de ne compter que les émissions fossiles.

Dans leur revue des ACV de biocarburants, Van der Voet *et al.* [2010] montrent également les mêmes pratiques. Ils mentionnent que la majorité des études publiées ne comptabilisent ni les consommations ni les émissions de CO₂ biogéniques. Un petit nombre d'études incluent ces données, ce qui les amène à formuler des conclusions très différentes sur les performances en gaz à effet de serre de la chaîne de production des biocarburants. Les résultats de ces émissions et consommations sont présentés au tableau 5.7 et aux figures 5.6. et 5.7.

Tableau 5.7: Détail des émissions et consommations de CO₂

		Scénario 1 : LPFO	Scénario 2 : Biomasse
Emissions totales de CO ₂ fossile et biogénique [t]	Production et transformation	2'915	456
	Combustion	9'155	11'458
	<i>Pourcentage par rap. au sc1</i>	100%	99%
Consommations totales de CO ₂ biogénique [t]	Production et transformation	-7	-12'394
	<i>Pourcentage par rap au sc1</i>	100%	177'000%
Total [t]		12'063	-480

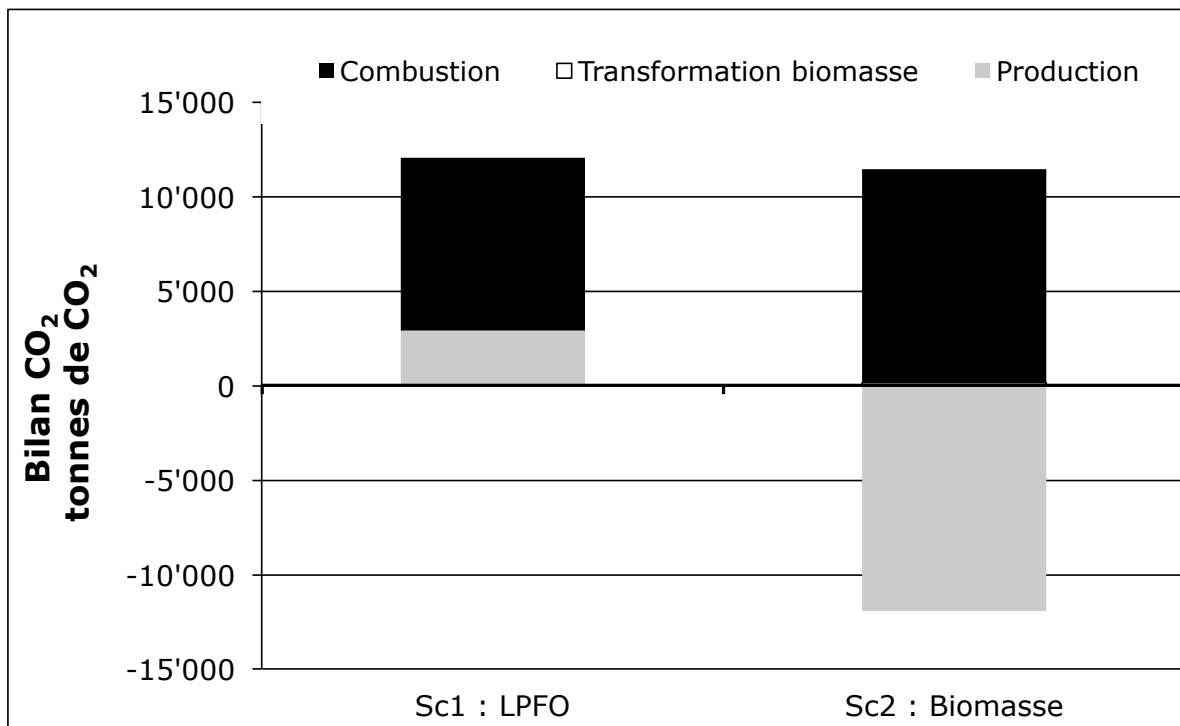


Figure 5.6 : Bilan détaillé du dioxyde de carbone consommé (valeurs négatives) et émis (valeurs positives)

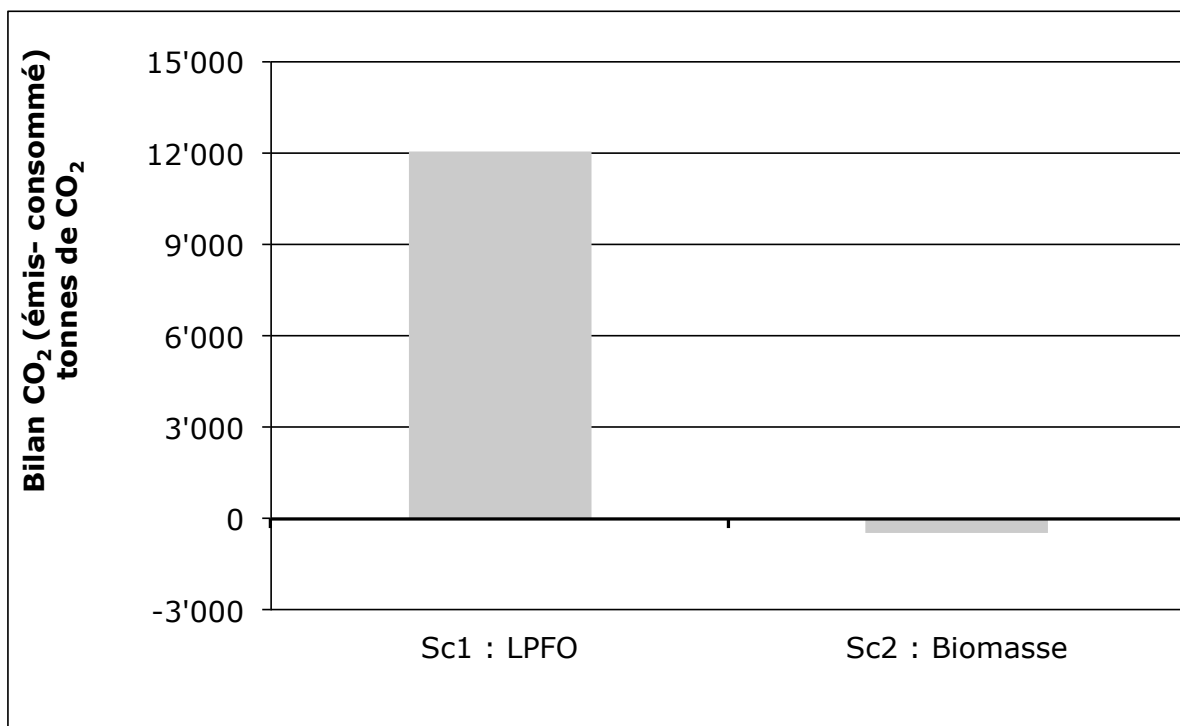


Figure 5.7 : Bilan agrégé du dioxyde de carbone consommé (valeurs négatives) et émis (valeurs positives)

Ce bilan total montre que la production et l'utilisation de biomasse consomme légèrement plus de CO₂ qu'elle n'en émet. Ce résultat pourrait indiquer qu'une petite partie du CO₂ est

stockée (par exemple dans le sol). Mais cela pourrait également être uniquement la conséquence de la précision des données. En effet, nous pouvons estimer de manière générale que les valeurs d'une base de données, même de très bonne qualité, sont proches de la réalité à plus ou moins 20%. De plus, comme je le mentionne au paragraphe 5.2.4, les données utilisées sont seulement partiellement adaptées aux flux réels. Ainsi, nous pouvons considérer que le bilan CO₂ de la croissance et combustion de la biomasse est environ nul.

Il faut cependant garder en mémoire que le CO₂ n'est pas le seul gaz à effet de serre, et donc que ces résultats doivent être observés avec précaution.

Par ailleurs, il est important de noter que le CO₂ biogénique émis entre dans un bilan neutre à court terme, alors que le CO₂ fossile émis est lui une addition nette au bilan total.

5.4. Résultats d'analyse d'impacts

L'analyse des impacts du cycle de vie a été faite en utilisant la méthode Impact2002+. Les résultats des dommages sont présentés à la figure 5.8 et les impacts intermédiaires à la figure 5.9. La catégorie "climate change" de la méthode Impact 2002+, qui caractérise le dommage "changements climatiques" a été adaptée afin de tenir compte des émissions et consommations de CO₂ biogénique. Une explication plus détaillée de la méthode Impact2002+ est disponible dans l'annexe 5.

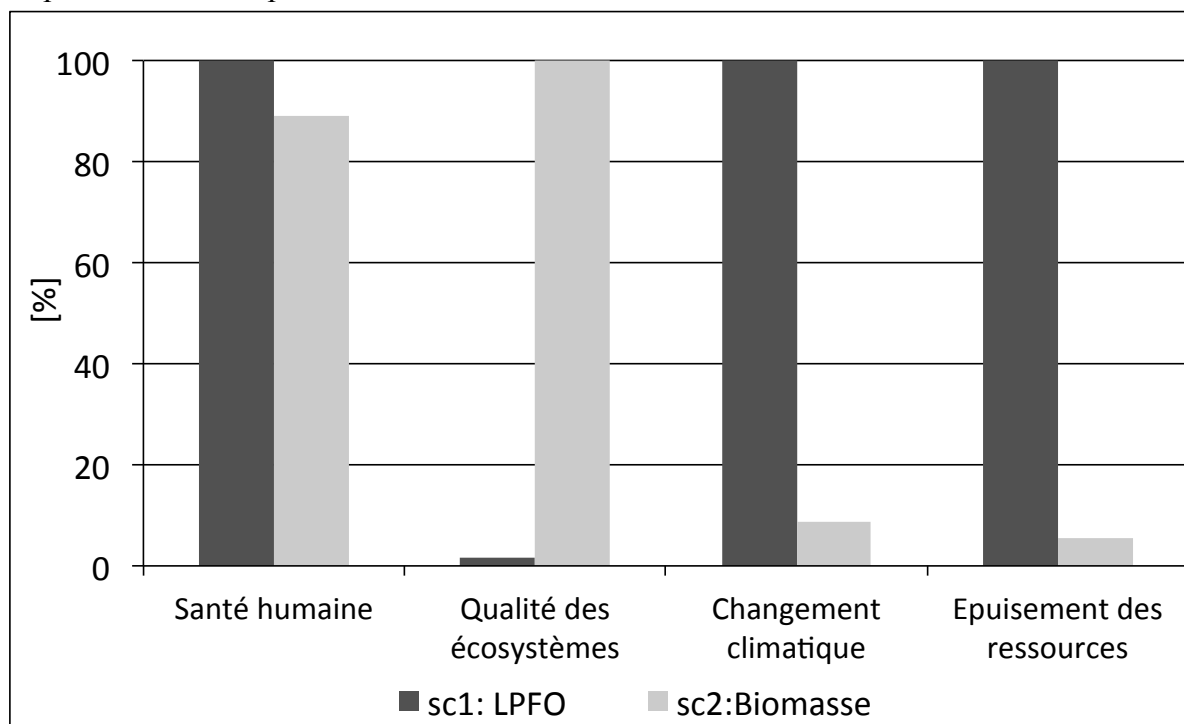


Figure 5.8 : Analyse des dommages du cycle de vie (méthode Impact2002+, damage).

La figure des dommages montre que la substitution de carburant fossile par de la biomasse est environnementalement plus intéressante et permet de réduire les impacts sur les changements climatiques et l'épuisement des ressources, et dans une moindre mesure sur la

santé humaine. Par contre les impacts sur la qualité des écosystèmes sont bien plus importants.

Notons que les catégories "changements climatiques" et "épuisement des ressources" sont plus liées à des impacts de type globaux, tandis que la catégorie "qualité des écosystèmes" est plus liée à des impacts de type locaux.

La figure 5.9 présente le détail des catégories d'impacts.

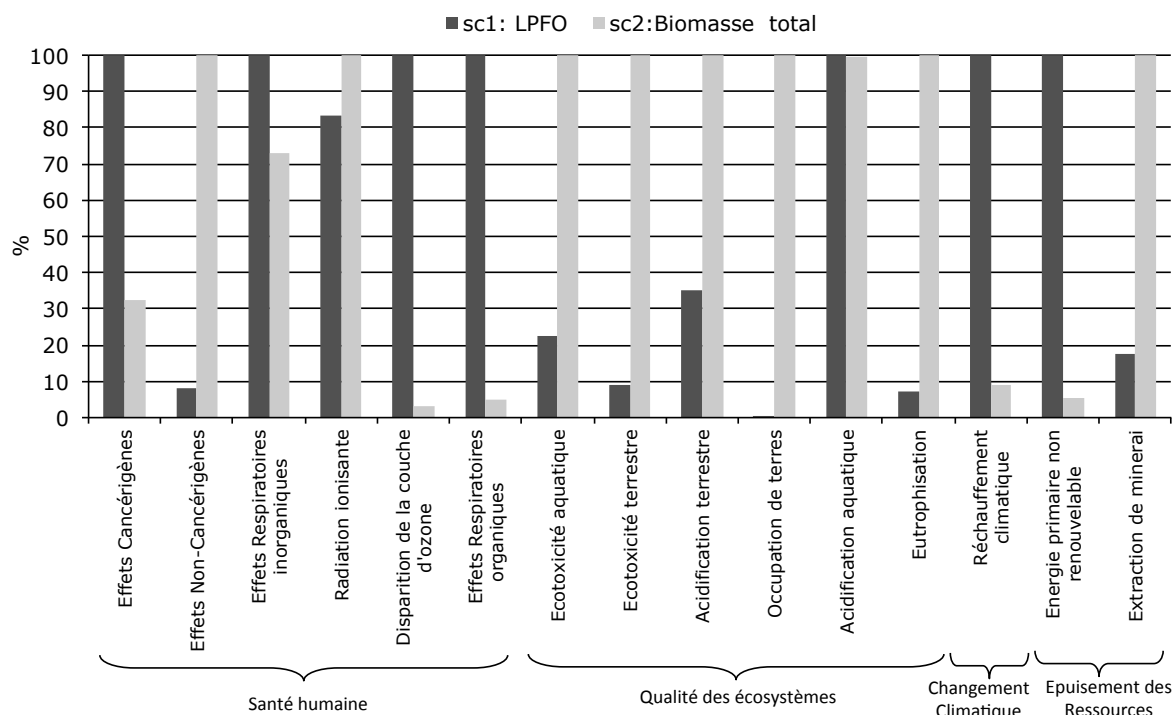


Figure 5.9 : Analyse des impacts du cycle de vie (Impact 2002+, caractérisation).

L'observation de cette figure 5.9 montre qu'aucun des deux scénarios n'est meilleur que l'autre sur toutes les catégories d'impact. Il est donc nécessaire de regarder ces résultats plus en détail pour déterminer si l'utilisation de biomasse offre réellement une amélioration au niveau des impacts environnementaux.

Les six premières catégories d'impacts concernent les dommages sur la santé humaine. Il n'y a pas de tendance claire entre les deux scénarios, bien que l'utilisation de biomasse permette de réduire les impacts liés aux maladies cancérigènes, aux problèmes respiratoires dus à des substances organiques et inorganiques, ainsi que la diminution de la couche d'ozone. Au contraire, l'utilisation de biomasse semble augmenter les impacts liés aux maladies non cancérigènes et dans une moindre mesure les radiations ionisantes.

Les impacts affectant la qualité des écosystèmes montrent tous que l'utilisation de biomasse pour remplacer le LPFO est moins bonne pour l'environnement : écotoxicité aquatique et terrestre, acidification du sol, occupation du sol et eutrophisation aquatique. Seule l'acidification aquatique est identique pour les deux scénarios.

Les impacts sur les changements climatiques sont liés à la seule catégorie d'impact "potentiel de réchauffement global après 100 ans", et montrent qu'il est bien plus intéressant d'utiliser de la biomasse pour substituer une partie du LPFO.

L'épuisement des ressources inclut la consommation d'énergie primaire non renouvelable et l'extraction de minerais. Le scénario LPFO est celui qui consomme le plus d'énergie primaire non renouvelable, alors que le scénario biomasse est celui qui consomme le plus de minerai (en particulier du sol). Cependant, les valeurs liées à l'extraction de minerais sont négligeables par rapport à la consommation d'énergie primaire non renouvelable. C'est pourquoi cette catégorie de dommage indique que le scénario de biomasse est bien meilleur pour l'environnement global.

Afin de mieux cibler mon analyse, je fais une sélection des catégories d'impacts les plus pertinentes.

En premier lieu, deux catégories intéressent particulièrement les initiateurs du projet et font partie des objectifs qu'ils ont fixés. Ces catégories font partie des impacts de type globaux :

- Potentiel de réchauffement climatique (Global warming)
- Consommation d'énergie non renouvelable (Non-renewable energy)

Ensuite, une observation des catégories ayant le plus d'intérêt dans le contexte local permet de sélectionner les catégories suivantes :

- Occupation du sol (Land occupation) : dans le contexte du Nigéria, où la population est très nombreuse et continue de croître rapidement, l'utilisation du sol est très importante.
- Ecotoxicité terrestre (Terrestrial ecotoxicity) : la pression sur le sol (comme ressource) est importante et sa qualité doit donc être préservée.
- Ecotoxicité aquatique (Aquatic ecotoxicity) : l'eau étant peu disponible dans la région (nord du Nigéria), il est important de préserver sa quantité et sa qualité.

A ces catégories d'impacts s'ajoutent des catégories d'inventaires importantes, qui ont été évaluées spécifiquement au paragraphe précédent, à savoir :

- La quantité d'eau consommée : l'eau étant une ressource spécialement limitée dans la région, il est important de l'utiliser avec parcimonie.
- La quantité d'énergie totale utilisée (renouvelable et non renouvelable) : il importe que la solution proposée pour remplacer le LPFO permette de réduire la consommation d'énergie globale, ou que le bilan soit nul, étant donné que l'énergie est une ressource rare dans la région et limitatrice de la capacité de développement.

Notons que je n'ai pas sélectionné de catégorie d'impact liée aux dommages sur la santé humaine. En effet, comme je le montrerai au chapitre 6, aucune des catégories d'impact sur la santé humaine ne sont représentatives d'un risque existant au nord du Nigéria.

La normalisation est une méthode couramment utilisée pour faire une sélection des catégories importantes. Elle permet de normaliser chaque catégorie en fonction de l'effet

existant⁴. Les facteurs de normalisation pour cette méthode sont adaptés au contexte européen, et donc peu représentatifs des conditions environnementales africaines locales. Et il n'existe pas de valeurs adaptées à l'Afrique de l'Ouest continentale. La normalisation est néanmoins présentée en l'état pour information à la figure 5.10.

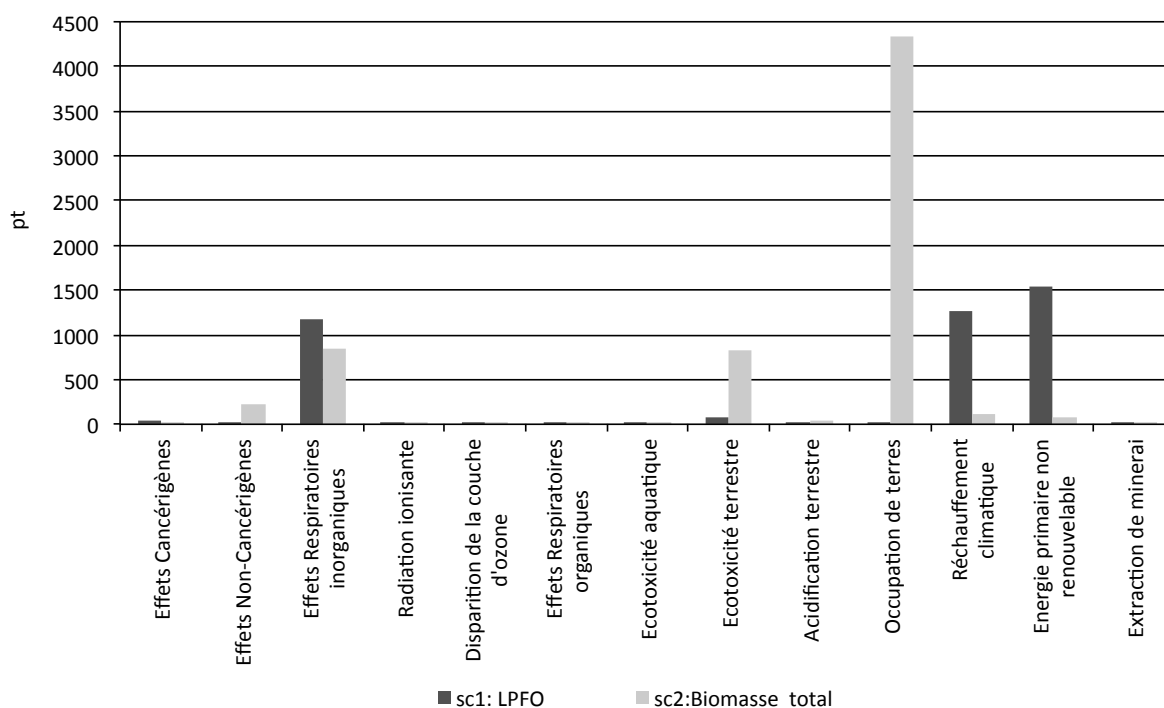


Figure 5.10 : Analyse des impacts du cycle de vie (impact 2002+, normalisation). Impact2002+ a été adapté pour tenir compte des émissions de CO₂ biogénique et du CO₂ consommé.

Cette normalisation permet de pointer les catégories pour lesquelles les impacts des scénarios étudiés sont particulièrement importants proportionnellement aux impacts que la population subit naturellement en Europe. Ces catégories d'impacts sont les suivantes : effets respiratoires inorganiques, écotoxicité terrestre, occupation du sol, réchauffement climatique, énergie non-renouvelable.

En considérant le contexte du nord du Nigéria, nous pouvons estimer que les effets respiratoires inorganiques dus aux scénarios évalués sont peu importants en comparaison avec les impacts naturellement subis. En effet, le taux de poussière dans l'air y est naturellement élevé pour plusieurs raisons. En premier lieu, le désert est assez proche de ces régions et l'Harmattan (vent chargé de poussière du désert) y souffle, amenant de grandes quantités de poussière. De plus, rares sont les routes goudronnées et les sols bétonnés, de la poussière s'en dégage donc naturellement.

Les autres catégories d'impacts identifiées par la normalisation avaient déjà été sélectionnées précédemment et sont étudiées ci-dessous.

⁴ Ainsi les catégories d'impacts sont normalisées par rapport à la présence existante des substances évaluées que la population et l'environnement subissent "naturellement".

5.4.1. Occupation du sol

La première catégorie d'impact que nous regardons en détail est l'occupation du sol. Le détail des impacts est présenté à la figure 5.11 et au tableau 5.8.

Nous y voyons que l'occupation du sol est bien plus importante pour le scénario Biomasse que pour le scénario basé sur l'énergie fossile. Ceci est principalement dû à la surface nécessaire à la culture.

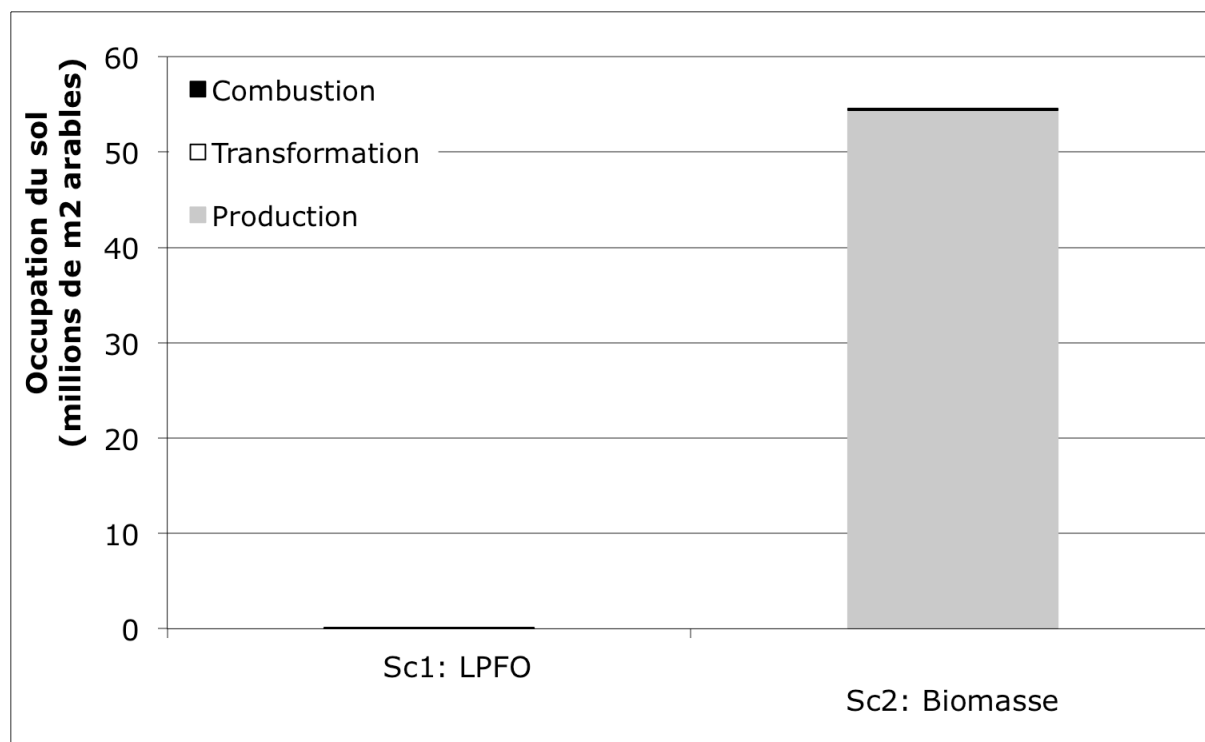


Figure 5.11 : Impact (mid-point), Occupation du sol, méthode impact 2002+

Tableau 5.8 : Occupation du sol (m² org. arable et % de l'étape du cycle vie par scénario)

	Scénario 1 : LPFO [m ² org. arable]	Scénario 2 Biomasse [m ² org. arable]
Production	10'986	54'389'046
Transformation	0	59'321
Combustion	55	30'808
Total	11'041	54'479'175
<i>Pourcentage par rapport au scénario de référence (sc1)</i>	<i>100 %</i>	<i>493'426 %</i>

Cependant, je note que, selon les arguments des initiateurs du projet, la surface utilisée pour la culture de biomasse ne serait pas utilisée pour d'autres usages. En effet, les techniques culturales introduites sont basées sur des haies autour des champs et la culture intercalaire. Ainsi les cultures de biomasse n'utilisent pas de l'espace qui serait employé pour l'habitat et pas ou peu d'espace employé pour les cultures vivrières.

Sur la base de ces remarques, en supposant que la surface pour la culture de la biomasse n'est pas prélevée à une surface destinée à un autre usage, nous pouvons supprimer cette partie du bilan. Nous obtiendrions ainsi les chiffres présentés au tableau 5.9 :

Tableau 5.9 : Occupation du sol, considérant que la culture de biomasse n'occupe pas d'espace destiné à un autre usage

	Scénario 1 : LPFO	Scénario 2 : Biomasse
Total	11'041 m ² org. arable	90'129 m ² org. arable
Pourcentage par rapport au scénario de référence (sc1)	100 %	816 %

Ceci nous amène à constater que malgré ces adaptations de l'analyse, le scénario Biomasse occuperait un espace huit fois plus important que le scénario LPFO.

5.4.2. Changements climatiques

Les impacts sur les changements climatiques sont présentés à la figure 5.12, et les chiffres donnés au tableau 5.10. Ils sont bien plus importants pour le scénario utilisant l'énergie fossile. En effet, les émissions de gaz à effet de serre sont très proches pour les deux scénarios, mais la croissance de la biomasse consomme du CO₂ de l'air, qui peut être soustrait au CO₂ émis lors de la production et de la combustion.

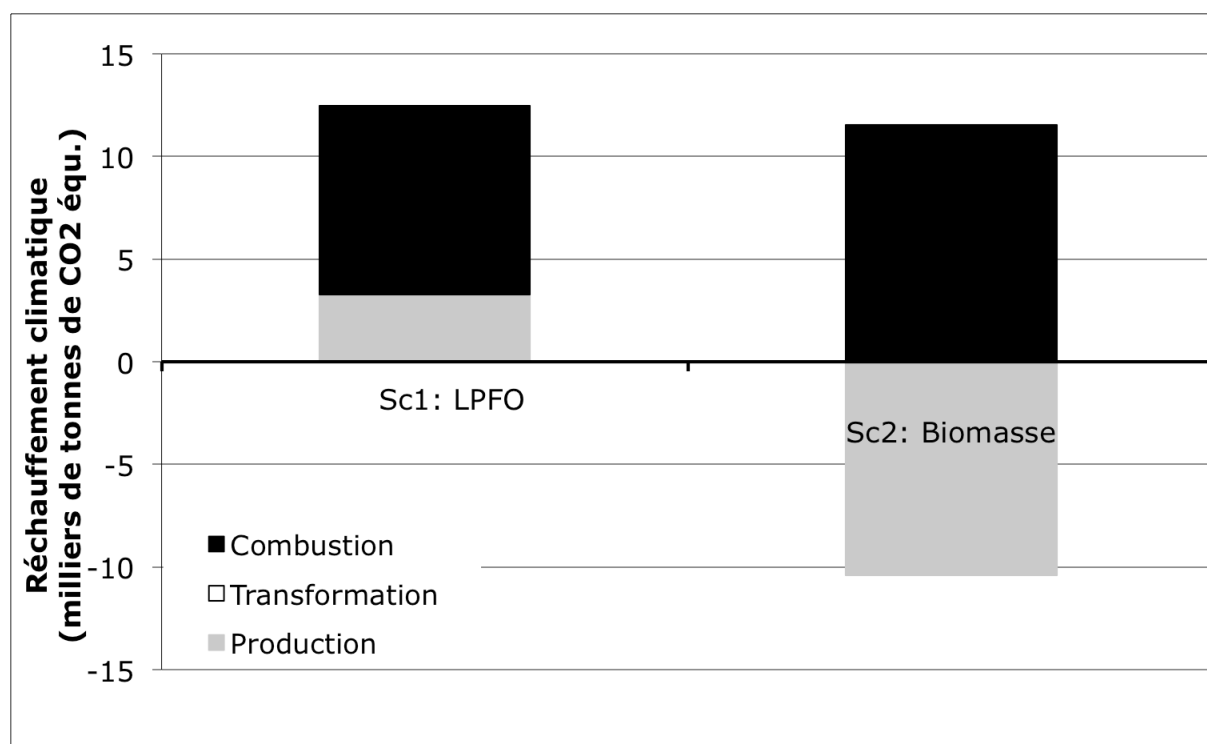


Figure 5.12 : Impact (mid-point), Changements climatiques, méthode impact 2002+

Tableau 5.10 : Changements climatiques

	Scénario 1 : LPFO [t CO₂ equ]	Scénario 2 Biomasse [t CO₂ equ]
Production	3'277	-10'418
Transformation	0	134
Combustion	9'188	11'389
Total	12'466	1'105
<i>Pourcentage par rapport au scénario de référence (sc1)</i>	100 %	9 %

La combustion est bien entendu la phase responsable de la majorité des impacts, bien que la production du LPFO ne soit pas négligeable.

Il faut cependant garder en mémoire que la production de biomasse, de manière générale, peut être source d'émissions de gaz à effet de serre qui sont difficilement mesurables (utilisation d'intrants, etc.). De plus, certaines précisions doivent être faites concernant les méthodes de calcul.

Vapeur d'eau

La vapeur d'eau est un important gaz à effet de serre. Les techniques de culture introduites pour la culture de biomasse pourraient modifier de manière importante la quantité de vapeur d'eau émise dans l'air. Cependant, il n'existe aucun moyen de déterminer de quelle manière cette émission évoluera dans le court terme. Nous pouvons imaginer que l'augmentation de végétation permettra d'augmenter localement l'évapotranspiration, ce qui consomme de l'énergie et permet de réduire un peu la température. Mais inversement, les phénomènes climatiques locaux tels que le vent et les changements de température peuvent faire varier énormément la présence de cette vapeur d'eau. En effet, plus la température de l'air est élevée, plus celui-ci peut contenir d'eau sous forme de vapeur. Le vent peut amener de l'air plus ou moins humide et donc modifier la présence d'eau dans l'air.

Par ailleurs, il faut savoir que les émissions de vapeur d'eau ne sont pas comptabilisées par les méthodes d'analyse ACV qui font le bilan du potentiel de réchauffement climatique, bien qu'elles contribuent de manière importante à ce réchauffement. Kiehl et Trenberth [1997] mentionnent que les gaz qui contribuent de la manière la plus importante au réchauffement climatique sont les suivants :

- Vapeur d'eau : 36-72%
- CO₂ : 9-26%
- CH₄ : 4-9%
- O₃ : 3-7%

L'importance de leur effet sur les changements climatiques est fonction de l'importance de leur présence dans l'atmosphère (concentration), de leur effet intrinsèque (absorption des radiations infrarouges) et de leur temps de résidence dans l'atmosphère. Le GIEC donne des

valeurs pour le potentiel de réchauffement climatique⁵ de chaque substance par rapport au CO₂, en le rapportant à un horizon de temps de 20 ans, 100 ans ou 500 ans.

Ainsi, bien que la vapeur d'eau soit le gaz à effet de serre contribuant le plus à celui-ci, son potentiel de réchauffement climatique n'est en général pas calculé car son temps de résidence dans l'atmosphère est seulement de l'ordre de quelques jours. Par ailleurs, ce temps de résidence et la concentration de la vapeur d'eau dépendent de la température de l'air. Il n'est donc pas possible de les influencer directement. Ainsi, il est communément accepté que les GWP20, GWP100 et GWP500 de la vapeur d'eau sont nuls. En conclusion, nous pouvons dire que la vapeur d'eau est un important gaz à effet de serre, mais que sa présence dans l'air dépend de nombreux facteurs, dont la température de l'air. Il n'est pas possible de faire un lien entre la vapeur d'eau émise par les activités humaines et le changement climatique.

Il faut donc bien différencier deux choses. D'une part, le GIEC utilise, pour ses calculs sur le réchauffement climatique, toutes les substances ayant un impact sur l'effet de serre. Parmi celles-ci, il y a la vapeur d'eau et les nuages, mais également de nombreuses autres substances. Il s'agit pour le GIEC de parler de l'effet de serre dans son ensemble, et d'estimer son augmentation à venir. D'autre part, le protocole de Kyoto se focalise sur six de ces substances (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆). Le choix de ces substances s'est fait sur la base de l'importance de leur émission par les activités humaines et leur potentiel de réchauffement climatique. La vapeur d'eau n'en fait pas partie. En effet, le but est de réduire ces six émissions, dont nous savons qu'elles ont un impact sur les changements climatiques et qui sont anthropogènes.

Carbone biogénique

Les méthodes d'analyse ACV courantes (Impact2002+, Ecoindicator99, CML2001, ReCiPe, ...) évaluent le potentiel de réchauffement climatique à 20, 100 ou 500 ans, en se référant aux substances et facteurs d'impact donnés par le dernier rapport du GIEC (2007). Parmi les substances évaluées, nous remarquons que le CO₂ d'origine biogénique, c'est-à-dire consommé et émis par les plantes, n'est pas comptabilisé. Le CH₄ biogénique est, lui, comptabilisé. En cherchant des précisions sur ce sujet, je trouve la mention que *si les résultats sont utilisés en vue d'une séquestration de carbone ou d'un mécanisme de développement propre, ces émissions biogéniques doivent alors être comptabilisées* [Frischknecht *et al.* 2007, p.11]. Je comprends par ceci qu'il est considéré que sur une période de 100 ans, le bilan du CO₂ consommé et émis par les plantes est nul, ce qui suppose que 100% du carbone des plantes provient de l'atmosphère et que 100% du carbone contenu dans les plantes est relâché sous forme de CO₂ une fois que ces plantes sont détruites. Comme d'autres auteurs [Rabl *et al.* 2007; van der Voet *et al.* 2010], j'é mets une réserve sur ce dernier point, sachant qu'une partie du carbone des plantes sera transformé en

⁵ En anglais : Global Warming Potential (GWP). GWP20 indique qu'il s'agit du potentiel de réchauffement climatique après 20 ans, GWP100 après 100 ans et GWP500 après 500 ans.

méthane de manière naturelle, substance qui a un potentiel de réchauffement climatique bien plus important. Je comprends également que c'est pour cette raison que le méthane biogénique est comptabilisé, en lui soustrayant le CO₂ biogénique non émis.

Dans le cas de notre étude, comme je l'ai mentionné, le CO₂ d'origine biogénique consommé et émis a été inclus dans la comptabilisation des gaz à effets de serre et du potentiel de réchauffement climatique.

5.4.3. Ecotoxicité terrestre

L'écotoxicité aquatique et terrestre représente l'impact sur les espèces vivantes dans l'eau et le sol, par analogie à la toxicité humaine. Les principales substances responsables de ces effets sont les métaux lourds. La figure 5.13 et le tableau 5.11 présentent les résultats des impacts sur l'écotoxicité terrestre.

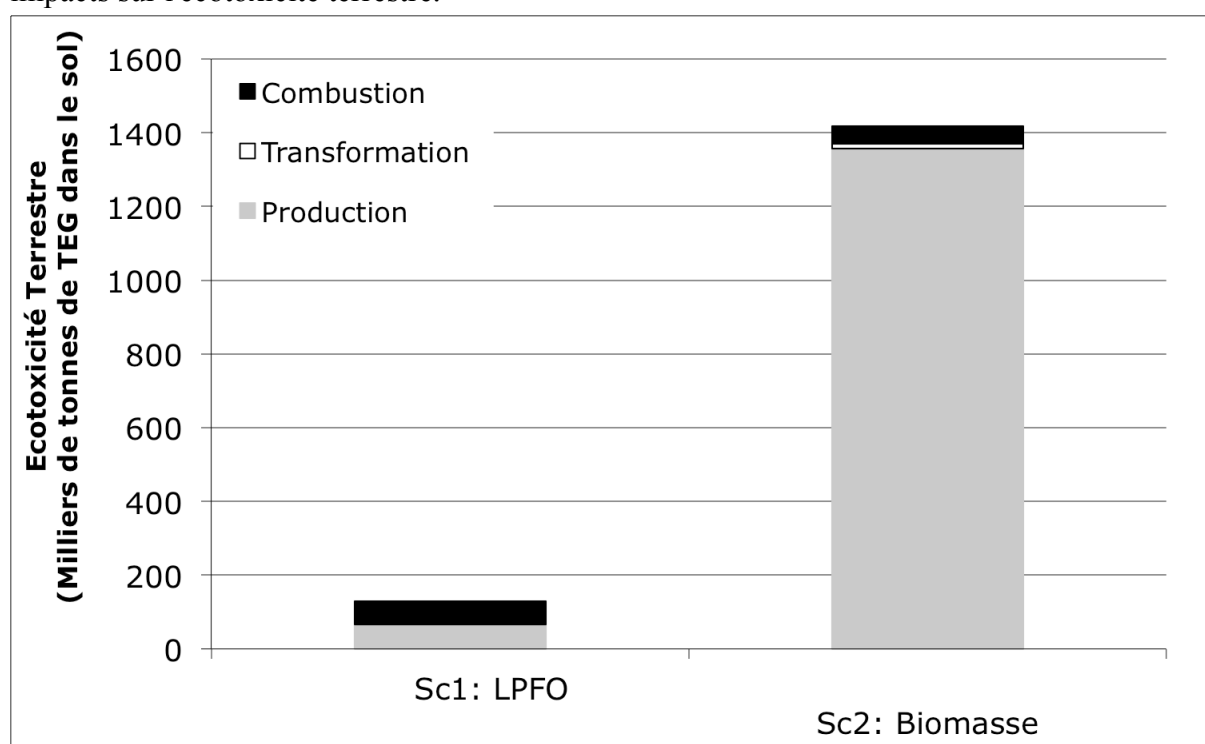


Figure 5.13 : Impact (mid-point), Ecotoxicité terrestre, méthode impact 2002+.

Remarque : TEG=TriEthylène Glycol

Tableau 5.11 : Impacts sur l'écotoxicité terrestre

	Scénario 1 : LPFO [10 ³ t TEG]	Scénario 2 Biomasse [10 ³ t TEG]
Production	66	1'357
Transformation	0	13
Combustion	63	47
Total	129	1'417
<i>Pourcentage par rapport au scénario de référence (sc1)</i>	100 %	1098 %

Selon la modélisation, l'impact sur l'écotoxicité terrestre est environ dix fois plus important pour le scénario utilisant de la biomasse que pour le scénario de l'énergie fossile. La phase de production de la biomasse est responsable de cet impact, avec des substances comme le zinc et le cuivre. Cela peut sembler surprenant, sachant que cette culture n'utilise aucun intrant industriel ou chimique. Je vais expliquer ceci plus en détail ci-dessous.

Prenons le détail des chiffres pour la production de biomasse, qui semble être la plus grande source d'impacts sur l'écotoxicité terrestre, afin de déterminer la source des émissions de métaux lourds. Ceux-ci sont présentés au tableau 5.12.

Tableau 5.12 : Impacts sur l'écotoxicité terrestre de la production de biomasse (Scénario 2: Biomasse)

	Semences		Croissance		Total
	herbes hautes	légumineuses	herbes hautes	légumineuses	
[tonnes TEG dans le sol]	940'394	180'848	-1'267'185	1'502'795	1'356'968
[%]	69.3	13.3	-93.4	110.7	100

Ainsi, cette analyse montre que les semences d'herbes hautes et la croissance des légumineuses sont les principales sources de métaux lourds, alors que la croissance des herbes hautes consomme des métaux lourds du sol.

Mettant en doute ces résultats, je cherche à déterminer la source de ces métaux lourds dans les inventaires. En regardant chacune de ces données plus en détail et en enquêtant auprès de spécialistes, nous apprenons que les émissions de métaux lourds pour la production des semences d'herbes hautes et pour leur croissance sont tirées de calculs, à partir d'un bilan Input-Output des métaux lourds présents dans des grains de seigle, de l'herbe et des fertilisants [Nemecek *et al.* 2004]. Il en est de même pour les semences et la croissance des légumineuses. La publication qui sert de référence s'inspire par ailleurs de cultures ayant lieu en Suisse. Comme le mentionne Freiermuth Knuchel [2010], les plantes ont besoin de cuivre et de zinc pour croître, ce qui peut influencer leurs émissions de ces substances.

Il nous reste donc à comprendre d'où proviennent ces métaux lourds qui sont captés par les plantes. Freiermuth Knuchel [2006] mentionne trois types de sources possibles de métaux lourds dans le sol :

- les sources naturelles : les métaux lourds présents dans le sol de manière naturelle, issus de la roche-mère par exemple,
- les sources anthropogènes diffuses : les métaux lourds déposés, issus de l'activité humaine. Par exemple, l'industrie et l'artisanat émettent surtout du cadmium, du zinc et du mercure alors que le plomb provient de la circulation routière et de la corrosion,
- les sources anthropogènes liées à l'agriculture : les métaux lourds peuvent être issus des intrants (pesticides et fertilisants), mais également de l'usure de pièces métalliques des machines.

Ces trois sources possibles sont donc propres au contexte climatique, aux techniques agricoles utilisées et aux activités humaines proches du lieu de cultures. Ce sont donc des sources locale.

Sur cette base, nous pouvons identifier les sources de métaux lourds pour notre étude. Les données utilisées sont adaptées à partir de données de cultures suisses, et les substances introduites par le biais des pesticides, fertilisants, dépôts atmosphériques et semences correspondent au contexte suisse. Dans le contexte de ce projet nigérian, aucun intrant n'est utilisé et les semences étant produites sur place, elles ne contiennent pas forcément les métaux lourds spécifiés dans la base de données. Les seules sources de métaux lourds restantes sont les dépôts de provenance atmosphérique. Nous pouvons supposer qu'elles sont différentes des dépôts atmosphériques suisses, où les zones rurales sont proches des centres urbains.

En Suisse, en zone urbaine, les émissions de cuivre et de zinc proviennent en majeure partie du lessivage des toits par l'eau de pluie [Guignard 2008]. Afin de faire correspondre ces données au contexte nigérian, il aurait été possible de simplement supprimer ces métaux lourds de l'inventaire. Cependant, en l'absence de connaissances plus précises des métaux lourds émis par l'agriculture au Nigéria, j'ai jugé plus simple de laisser les données en l'état, et de mentionner cette différence possible. Au vu du manque de précision de ces données, cet indicateur ne devrait pas être utilisé.

Une caractérisation de l'impact sur la qualité des sols est cependant nécessaire. Dans ce contexte, l'impact sur la qualité des sols pourrait être donné par l'impact sur la fertilité, l'érosion et la biodiversité du sol. Ces indicateurs n'existant pas en tant que tels pour l'Analyse du Cycle de Vie, une observation sur le terrain s'avère nécessaire.

5.4.4. Ecotoxicité aquatique

Les impacts sur l'écotoxicité aquatique sont présentés à la figure 5.14 et au tableau 5.13.

L'impact sur l'écotoxicité aquatique est très proche de celui de l'écotoxicité terrestre, étant causé par les mêmes substances dissoutes dans l'eau. Le scénario présenté ici comme ayant un impact plus important est celui de la production agricole de biomasse. Les substances responsables sont le cuivre et le zinc émis dans le sol, car celles-ci sont par la suite dissoutes dans l'eau où elles ont également un effet.

Cependant, comme mentionné pour l'écotoxicité terrestre, je considère que ces résultats ne sont pas représentatifs de la réalité. En effet, les données utilisées correspondent au contexte suisse, qui est assez différent du contexte nord-nigérian en ce qui concerne les émissions de métaux lourds dans l'eau et le sol.

Tableau 5.13 : Impacts sur l'écotoxicité aquatique

	Scénario 1 : LPFO [10³ t TEG]	Scénario 2 Biomasse [10³ t TEG]
Production	267	1'330
Transformation	0	8
Combustion	40	37
Total	307	1'376
<i>Pourcentage par rapport au scénario de référence (sc1)</i>	100 %	448 %

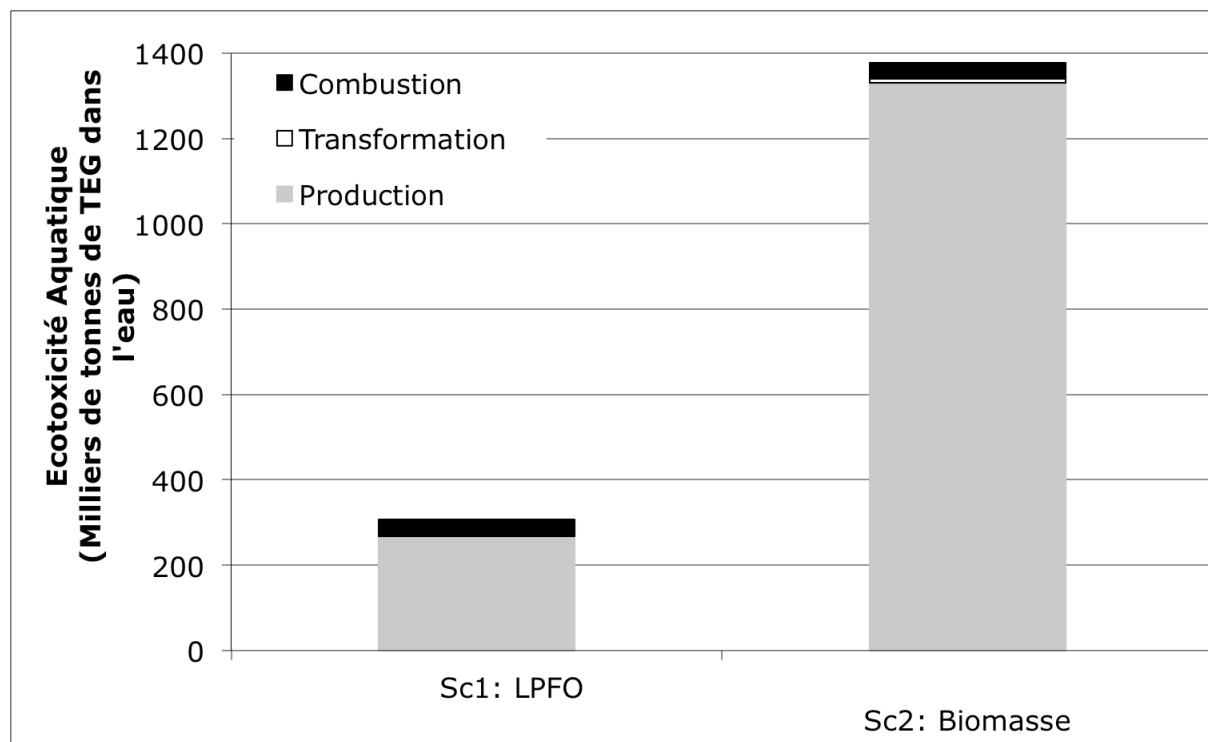


Figure 5.14 : Impact (mid-point), Ecotoxicité aquatique, méthode impact 2002+

Par ailleurs, pour le scénario 1 de production de LPFO, nous avons également des raisons de penser que les résultats de cette analyse sont éloignés de la réalité. En effet, comme nous le savons malheureusement trop peu, la production de pétrole dans le delta du Niger est une activité très polluante. Comme le rapportent plusieurs enquêtes indépendantes récentes [Amnesty International 2009; Modoux 2010; Vidal 2010], plus de 300 marées noires sont recensées chaque année dans le delta du Niger. Ces catastrophes écologiques polluent annuellement irrémédiablement des milliers d'hectares de mangrove, de marais d'eau douce et de terres arables. Ceci devrait ressortir des résultats d'écotoxicité aquatique et terrestre ainsi que d'occupation du sol. Mais il n'en est rien. Est-ce dû au choix des allocations (massiques ou financières), le LPFO étant considéré comme un déchet de peu de valeur? C'est possible, mais c'est plus certainement dû à l'impossibilité d'avoir des chiffres corrects pour la production du pétrole au sud du Nigéria, ces chiffres n'étant tout simplement jamais publiés et peu, voire pas connus.

Les chiffres de la base de données Ecoinvent sont issus d'enquêtes et de rapports auprès d'AGIP et Shell de 2000. Cependant, comme le mentionnent les auteurs du rapport Ecoinvent en question [Jungbluth 2007], de grandes incertitudes pèsent sur ces résultats, car de nombreuses informations ne sont pas disponibles. Par ailleurs, les chiffres datent de 2000, et plusieurs scandales ont éclaté depuis, mettant en lumière la mauvaise qualité des infrastructures et les fuites de pétrole (accidentelles ou provoquées par la population locale) importantes dans la région. Les chiffres d'Ecoinvent considèrent un raffinage en Suisse ou en Europe, ce qui est généralement le cas pour le pétrole nigérian utilisé en Europe. Mais

dans le cas de notre étude, le pétrole est raffiné au Nigéria, avec des technologies dont nous ne connaissons pas les chiffres.

Ainsi, pour toutes ces raisons, les impacts locaux liés à la production de LPFO sont certainement largement sous-estimés. Au vu du manque de précision des données concernées, je considère que ces indicateurs locaux existants ne devraient pas être utilisés pour l'analyse des impacts.

5.4.5. Résumé des indicateurs d'impacts

Suite à l'analyse des impacts présentée ci-dessus, il est intéressant de les résumer dans un tableau (tableau 5.14) synthétisant l'ensemble des remarques qui ont été faites. Pour chaque impact analysé, je présente l'indicateur qui a été choisi. Dans la seconde colonne, j'indique si le choix de l'indicateur est pertinent pour caractériser la catégorie d'impact au terme de l'analyse, et je commente cette réponse dans la troisième. Dans la quatrième colonne, j'indique si le résultat obtenu est pertinent je commente cette réponse dans la dernière colonne. Ce tableau sera utile pour l'interprétation des résultats, présentée au paragraphe 5.5.

Tableau 5.14 : Récapitulation des résultats d'analyse

Impact évalué et indicateur choisi	1. Pertinence du choix de l'indicateur	Commentaire 1	2. Pertinence du résultat	Commentaire 2
Changements climatiques <i>Bilan des émissions de GES</i>	oui	L'indicateur est pertinent dans ce contexte. Il nécessite cependant d'inclure l'ensemble des émissions et consommations de GES fossiles et biogéniques.	oui	Le résultat de ce bilan intégrant les émissions et consommations de GES fossiles et biogéniques est pertinent pour ce contexte et les biocarburants.
Consommation d'énergie <i>Bilan total des énergies consommées</i>	oui	Dans ce contexte où l'énergie est rare et peu disponible, le bilan doit inclure les énergies primaires non renouvelables et renouvelables consommées.	oui, en partie	Le résultat est pertinent, mais il faut s'assurer qu'il inclue toutes les sources d'énergies utilisées.
Quantité d'eau <i>Quantité d'eau totale utilisée</i>	oui	L'eau étant une ressource limitée dans la région, il est important de contrôler qu'elle est utilisée avec parcimonie pour le projet. Un bémol cependant, car en dehors du projet lui-même, l'entreprise utilise l'eau sans compter et sans la recycler. Cette ressource n'est donc pas préservée.	non	Ce résultat est peu pertinent, car le calcul de la quantité d'eau totale utilisée est sujet à plusieurs choix d'allocation subjectifs qui apportent des résultats très différents.

Impact évalué et <i>indicateur choisi</i>	1. Pertinence du choix de l'indicateur	Commentaire 1	2. Pertinence du résultat	Commentaire 2
Espace utilisé <i>Occupation du sol</i>	oui	Dans ce contexte, le sol-espace subit une pression croissante. La comptabilisation de l'espace utilisé par le projet, et donc inutilisable pour d'autres usages, est un bon indicateur.	non	Le résultat de cet indicateur ne permet pas de représenter la réalité où la quantité et la qualité du sol sont entremêlées. En effet, plus de surface est utilisée, mais elle permet une meilleure utilisation de l'ensemble de ce sol.
Qualité du sol <i>Ecotoxicité terrestre</i>	oui, en partie	La qualité du sol-ressource doit être préservée. L'écotoxicité terrestre est l'un des indicateurs adéquats avec la fertilité, la biodiversité du sol, et l'érosion. Ces trois derniers indicateurs ne sont pas considérés dans l'ACV.	non	La qualité de l'inventaire disponible n'est pas suffisante pour obtenir un résultat représentatif. En effet, on ne connaît pas les émissions de métaux lourds liées au projet, ni le niveau de métaux lourds présent naturellement dans les sols.
Qualité de l'eau <i>Ecotoxicité aquatique</i>	oui	L'écotoxicité aquatique est un bon indicateur de la qualité de l'eau.	non	Les résultats ne sont pas pertinents pour les deux scénarios : <ul style="list-style-type: none"> • données d'inventaire de qualité insuffisante (sc2) • la réalité sud-nigériane n'est pas reflétée par les inventaires (sc1) • les technologies modélisées ne correspondent pas au contexte nigérian (sc1) • Les allocations pour le LPFO sont trop faibles car il est considéré comme un déchet (sc1) • Le coke de pétrole n'est pas totalement équivalent au LPFO, donc peu représentatif.

Ce tableau récapitulatif nous permet d'observer que les impacts globaux sont relativement bien modélisés par les indicateurs choisis. Au contraire, les impacts locaux sont plus difficiles à modéliser en utilisant les indicateurs proposés par les méthodes d'analyse courantes. Ceci sera commenté dans le paragraphe 5.5.

5.5. Interprétation

Cette partie d'interprétation est divisée en deux. Dans la première partie, je récapitule ce que nous pouvons retenir des résultats obtenus. Dans la deuxième partie, je cherche à interpréter ces résultats et je serai amenée à initier une réflexion sur les difficultés méthodologiques rencontrées.

5.5.1. Interprétation des résultats d'analyse obtenus

Les résultats de cette Analyse du Cycle de Vie montrent que l'utilisation de biomasse pour remplacer une partie du LPFO est très intéressante en ce qui concerne la réduction des impacts *globaux* : changements climatiques et consommation d'énergie primaire non renouvelable.

Par contre, les impacts *locaux* prévus pour l'utilisation de biomasse sont bien plus importants que si l'entreprise continuait à utiliser du LPFO comme c'est le cas actuellement, en particulier en ce qui concerne l'écotoxicité terrestre et aquatique et l'occupation du sol. Comme nous avons pu le remarquer tout au long de l'analyse, toutes les catégories d'inventaire et d'impact étudiées ont dû être précisées et les résultats expliqués spécifiquement pour replacer l'impact dans son contexte réel. Et ceci nous a amené à ré-estimer chacun des résultats. Ainsi, j'ai identifié que tous les impacts locaux réels liés à l'utilisation de biomasse étaient moins importants que ce que prévoyait l'analyse. Et inversement, les impacts locaux réels liés à la production de LPFO pourraient être plus importants.

5.5.2. Bases pour une réflexion plus poussée sur l'outil d'analyse

Nous remarquons que pour obtenir des résultats qui aient du sens, il a constamment fallu chercher à modifier les données utilisées, modifier et critiquer les catégories d'impacts, afin que l'analyse corresponde à la réalité. Toutes ces modifications m'amènent à prendre du recul par rapport à l'outil ACV tel qu'il existe et à remettre en question certains de ses fondements.

J'identifie deux types de problèmes :

- Les problèmes pratiques liés à l'utilisation de l'outil existant, comme les problèmes liés aux bases de données d'inventaires et aux méthodes d'analyse d'impacts et
- Les problèmes conceptuels, liés au paradigme sur lequel l'outil se base, et donc aux hypothèses implicites qu'il suppose.

Explicitons un peu ces deux éléments qui seront abordés plus en détail au chapitre 6.

De nombreux problèmes rencontrés lors de la réalisation de cette étude remettent en cause la qualité des résultats obtenus. La question se pose, par exemple, de savoir si l'outil utilisé a

permis d'évaluer les bonnes catégories d'impacts et si nous ne serions pas passés à côté de catégories pertinentes dans ce contexte-là.

L'intérêt environnemental de la culture de biomasse serait-il toujours le même, si l'argent dégagé par ces cultures pour les paysans leur donnait la possibilité d'investir dans des infrastructures mécaniques (tracteurs, etc.) et fertilisants chimiques, qui leur permettraient d'avoir de meilleurs rendements? Qu'en serait-il, s'ils décidaient de produire une quantité supplémentaire de biomasse destinée à faire de l'huile, leur permettant de produire de l'électricité eux-mêmes et d'avoir accès à des activités à plus haute valeur ajoutée, mais ayant d'autres impacts environnementaux?

Une Analyse du Cycle de Vie conséquentielle (consequential LCA) pourrait répondre à ces questions. Mais je peux déjà estimer sans faire de calcul, qu'un tel développement aurait nécessairement comme conséquence d'augmenter les impacts environnementaux par le simple fait de l'augmentation absolue de la consommation d'énergie...

Dans une société industrialisée et développée, comme nous la définissons en Occident, il est généralement souhaitable de passer d'activités du secteur secondaire à celles du secteur tertiaire qui sont moins polluantes et demandent un travail plus intellectuel que physique⁶. Cela correspond à l'évolution de nos sociétés, où la natalité a cessé d'augmenter et où la formation universitaire est valorisée au détriment des formations manuelles. Il s'agit également de modifier les activités du secteur secondaire pour qu'elles diminuent leurs pollutions. L'outil ACV permet d'évaluer le système dans cette optique et de favoriser les scénarios favorables à de telles orientations. Les solutions proposées ou favorisées sont celles qui diminuent les impacts environnementaux. Mais il est clair qu'elles vont également dans le sens de l'augmentation de la croissance, et c'est à cette seule condition qu'elles sont éthiquement acceptables.

De sociétés historiquement basées sur le secteur primaire, où l'équilibre avec la nature est essentiel, nos sociétés occidentales ont évolué vers le secteur secondaire en puisant dans des ressources non-renouvelables pour augmenter notre puissance, avec comme conséquence d'augmenter également les impacts environnementaux. Une prise de conscience des problèmes importants que cela pourrait poser à notre survie a petit-à-petit fait émerger des régulations pour définir des références et des limites à ces impacts. La transition vers le secteur tertiaire offre l'espoir d'une réduction de ces impacts associée à une diminution des

⁶ Mais il ne faut pas oublier que le développement du secteur tertiaire ne supprime ni le secteur secondaire ni le secteur primaire qui restent nécessaires à l'existence même du secteur tertiaire! Ces deux premiers secteurs sont simplement déplacés et intensifiés dans d'autres régions du monde. Ainsi, si la transition d'une société du secteur secondaire vers le secteur tertiaire permet de diminuer localement les impacts environnementaux, il ne faut pas oublier qu'au niveau global, il n'y a pas de diminution, cette production industrielle étant nécessaire à la consommation des sociétés occidentales. Il ne s'agit donc que d'une diminution relative, comme le mentionnent très clairement Ghertner et Fripp [2007] qui analyse le déplacement d'émissions lié à la transition de la société américaine vers le secteur tertiaire, et le développement du secteur secondaire dans d'autres pays qui en résulte. Il montre que le bilan total de cette transition augmente globalement les impacts environnementaux de 10% à 20% selon les catégories d'impacts, pour les années 1998 à 2004.

consommations d'énergie par l'amélioration des rendements énergétiques. Nous nous rendons compte aujourd'hui que cette réduction programmée n'a malheureusement pas eu lieu à cause de l'augmentation conjointe de la consommation qu'elle a provoqué.

Par ailleurs, l'abandon du secteur secondaire en faveur du secteur tertiaire est possible en partie grâce au fait que le secteur secondaire se développe rapidement dans les pays émergents, notamment en Chine et en Inde, et compense le besoin d'objets manufacturés.

Le système de croissance et de développement que nous connaissons et dont la société occidentale fait la promotion à tous vents passe par une augmentation de la consommation d'énergie, et jusqu'à maintenant, par une augmentation des pollutions. L'économie de toute l'Afrique de l'Ouest continentale est basée sur le secteur primaire. Si le développement devait passer par le développement du secteur secondaire et la croissance (de l'économie et de la consommation), il y a fort à parier que même en n'utilisant que des technologies "propres", il passerait également par une augmentation de la consommation de ressources et un accroissement des impacts sur l'environnement! Cependant, si cette augmentation est contenue et gérée de manière intégrée, elle peut amener les pays en développement à améliorer leur niveau de vie, sans que les impacts environnementaux dépassent les limites tolérables.

L'Analyse du Cycle de Vie est un outil adapté pour une société développée qui projette de réduire ses impacts environnementaux pour continuer sa croissance. Par contre, comme je viens de l'expliquer, l'adéquation du paradigme sur lequel elle se base est discutable dans le cas des pays en développement.

5.6. Conclusions

Il résulte de cette Analyse du Cycle de Vie que l'utilisation de biomasse produite selon les méthodes proposées pour remplacer un carburant fossile a du sens. En effet, ceci permet d'estimer la réduction des impacts environnementaux globaux, tels que l'épuisement des ressources et les changements climatiques.

Cette étude a permis de mettre en lumière qu'en ce qui concerne les impacts locaux, une réflexion sur l'outil ACV est nécessaire. Les éléments existants ne permettent pas d'obtenir des résultats satisfaisants à ce niveau-là. Le chapitre 6 abordera ce sujet et proposera des pistes d'amélioration.

Outre ces résultats généraux très intéressants, ce chapitre a montré que la réalisation d'une ACV dans un pays en développement rencontre de nombreux problèmes pratiques, à commencer par le manque de données d'inventaire, en passant par l'évaluation difficile des impacts. La résolution de ces problèmes pratiques est le début d'un travail plus précis où je pousserai plus loin la réflexion de manière à identifier plus en détail les incohérences potentielles de l'utilisation de cet outil dans les pays en développement. En apparence superficiels, ces problèmes et limitations se montreront bien plus importants que prévu. Cependant, comme je l'ai montré dans ce chapitre 5, il est possible selon certaines

conditions de réaliser une Analyse du Cycle de Vie dans un pays en développement. La question qu'il est important de se poser est de savoir si les résultats obtenus répondent aux objectifs qui étaient fixés au départ. Et nous nous rendrons compte au chapitre 6, que les objectifs d'une telle évaluation peuvent différer suivant le contexte socio-économique dans lequel elle est réalisée.

5.7. Bibliographie

- Amnesty International (2009). *Nigeria: petroleum, pollution and poverty in the Niger delta*. London: 143. <http://www.amnesty.org/fr/news-and-updates/news/oil-industry-has-brought-poverty-and-pollution-to-niger-delta-20090630>
- AshakaCem works (2006). *Annual report 2006*, Lafarge group
- Bayart, J.-B., Bulle, C., Deschênes, L., Margni, M., Pfister, S., Vince, F. and Koehler, A. (2010). "A framework for assessing off-stream freshwater use in LCA." *The International Journal of Life Cycle Assessment* **15**(5): p.439-453. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-010-0172-7>
- Boulay, A.-M., Bayart, J.-B., Bulle, C., Rosenbaum, R., Margni, M. and Deschênes, L. (2009). *Water Use Impact Assessment Methodology and Application to Pulp and Paper Industry*. *The 4th international conference on Life Cycle Management : "The Global Challenge of managing life cycles"* 6-9 sept. 2009. von Blottnitz, H. and Notten, P. Cape Town
- Freiermuth Knuchel, R. (2006). *Modell zur Berechnung der Schwermetall- Flüsse in der Landwirtschaftlichen Ökobilanz*. Zürich, Switzerland, Agroscope FAL Zürich-Reckenholz: 42
- Freiermuth Knuchel, R. (2010). *Emissions de cuivre et de zinc en Suisse*. Communication personnelle avec Schwab Castella, P. Lausanne: 1
- Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.-J., Bauer, C., Doka, G., Dones, R., Hirschler, R., Hellweg, S., Humbert, S., Köllner, T., Loerincik, Y., Margni, M. and Nemecek, T. (2007). *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods.ecoinvent report No. 3. Data v2.0 (2007)*. Duebendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories
- Ghertner, D. A. and Frupp, M. (2007). "Trading away damage: Quantifying environmental leakage through consumption-based, life-cycle analysis." *Ecological Economics* **63**(2-3): p.563-577. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.12.010>
- Giraudy, F., Wernert, R., Bawa, D., Bashir, I. Y., Boularabe, O. and McQuillan, R. (2008). *Toward a sustainable bio-energy project in Northeastern Nigeria. Feasibility study*. Paris, Lafarge & Dagrès/Geocoton: 72
- Guignard, C. (2008). *Etude des rejets urbains de cuivre au moyen d'une analyse de flux de substance : exemple de la commune de Lausanne et impacts sur les sédiments et eaux de surface dans la baie de Vidy*. *Travail de Master*. Chèvre, N. and Pfeifer, H.-R. Lausanne, UNIL: 94

- Humbert, S., Shaked, S., Manneh, R., Margni, M. and Jolliet, O. (2009). *Regionalization of life cycle impact assessment: geographic differentiation vs archetypes*. The 4th international conference on Life Cycle Management : "The Global Challenge of managing life cycles" 6-9 sept. 2009. von Blottnitz, H. and Notten, P. Cape Town
- ISO (2006). *Norme ISO 14040 : 2006 (F), Management environnemental - analyse du cycle de vie - principes et cadre*. Genève, Organisation Internationale de Normalisation: 23
- Jungbluth, N. (2007). *Erdöl. Ecoinvent report No. 6, part IV*. In Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Dones, R. Duebendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Kiehl, J. T. and Trenberth, K. E. (1997). "Earth's Annual Global Mean Energy Budget." Bulletin of the American Meteorological Society **78**(2): p.197-208. <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0477%281997%29078%3C0197%3AEAGMEB%3E2.0.CO%3B2>
- Modoux, F. (2010). "Les marées oubliées du delta du Niger." Le Temps **9 juin 2010**: p.1. <http://www.letemps.ch/Page/Uuid/ff22d87e-733c-11df-aafa-b3b9883b65b010>
- Nemecek, T., Heil, A., Huguenin, O., Meier, S., Erzinger, S., Blaser, S., Dux, D. and Zimmermann, A. (2004). *Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems, Final report ecoinvent 2000. Volume: 15*. Dübendorf, Switzerland, Swiss Centre for LCI, FAL & FAT
- Rabl, A., Benoist, A., Dron, D., Peuportier, B., Spadaro, J. and Zoughaib, A. (2007). "How to account for CO2 emissions from biomass in an LCA." The International Journal of Life Cycle Assessment **12**(5): p.281-281. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2007.06.347>
- van der Voet, E., Lifset, R. J. and Luo, L. (2010). "Life-Cycle Assessment of biofuels, convergence and divergence." Biofuels **1**(3): p.435-449
- Vidal, J. (2010). "Nigeria's agony dwarfs the Gulf oil spill. The US and Europe ignore it." The Guardian **30 May 2010**: p.1. <http://www.guardian.co.uk/world/2010/may/30/oil-spills-nigeria-niger-delta-shell>

Chapitre 6

Méthodologie pour l'évaluation de la durabilité d'un projet en Afrique de l'Ouest

6.1. Introduction

Les étapes de réalisation d'une analyse du cycle de vie sont clairement définies dans les normes ISO 14040 et suivantes [ISO 2006a, 2006b]. Dans le chapitre 5, nous avons fait une Analyse du Cycle de Vie de la substitution énergétique envisagée par Lafarge au nord du Nigeria. Celle-ci nous a amené à prendre conscience des limitations des outils d'analyse courants pour une utilisation dans les pays en développement.

Ce chapitre 6 présente dans une première partie le détail des limitations observées et des critiques que nous pouvons faire à l'Analyse du Cycle de Vie dans un contexte non-industrialisé. J'y explique les enjeux idéologiques qui sous-tendent son utilisation et le type de solutions qu'un tel outil met en lumière. La question est alors de savoir comment estimer les impacts environnementaux réellement problématiques, dans un contexte socio-économique défavorable. Lorsque la pauvreté concerne la majorité de la population, une évaluation uniquement basée sur les impacts environnementaux est difficile à justifier. En effet, les besoins élémentaires n'étant pas garantis, des solutions qui semblent positives environnementalement pourraient se révéler inappropriées pour le tissu social et économique local ou inacceptables culturellement.

C'est pourquoi, dans une deuxième partie, un nouveau cadre méthodologique est développé pour l'évaluation de la durabilité de projets dans le contexte ouest-africain. Ce cadre s'appuie sur la perspective du cycle de vie et s'ancre dans les trois piliers de la durabilité que sont l'environnement, l'économie et la société. Ce cadre est alors utilisé pour définir une méthodologie d'analyse propre au projet d'AshakaCem. L'illustration de l'utilisation de cette méthodologie sera présentée au chapitre 7.

6.2. Critiques à l'égard de l'ACV

La réalisation au chapitre 5 de l'Analyse du Cycle de Vie d'un projet de substitution énergétique au nord du Nigeria nous a permis d'observer de nombreux problèmes de l'outil liés au contexte et qui rendent son utilisation difficile, voire inadaptée. Comme mentionné au chapitre 5, les problèmes rencontrés sont de deux types :

- les problèmes pratiques liés aux limitations techniques de l'utilisation de l'ACV, d'adaptation des inventaires, des indicateurs et des méthodes d'analyse, et déjà en partie mentionnés dans la littérature (voir chapitre 3 à ce sujet),
- les problèmes conceptuels concernant le modèle socio-économique et les hypothèses implicites sur lesquels l'outil se base.

Je détaillerai dans ce paragraphe 6.2 les différents arguments et critiques observés à l'encontre de l'ACV. Le Tableau 6. 1 en présente un résumé. Sur cette base, les paragraphes 6.3 et suivants présenteront des pistes pour adapter l'ACV aux pays en développement en vue d'une évaluation de la durabilité d'un projet.

Tableau 6. 1 : Résumé des problèmes rencontrés pour l'utilisation de l'ACV dans les pays en voie de développement (PVD).

	Problèmes et limitations techniques	Problèmes intrinsèques à l'outil / hypothèses implicites
1. Définition des objectifs et du système	<ul style="list-style-type: none"> • Difficulté à définir les limites du système car le système (potentiellement améliorable) est modifié par les scénarios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse relative et non pas absolue des impacts <u>Critique PVD</u> : Une évaluation absolue des impacts pourrait être plus adaptée.
2. Inventaire	<ul style="list-style-type: none"> • Données existantes peu adaptées au contexte (technologie, climat,...) • Beaucoup de données d'inventaire manquent • Manque une catégorie d'inventaire: l'énergie humaine et animale 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Hypothèse implicite</u> : il y a de l'énergie mécanique à disposition de manière abondante, et celle-ci va être utilisée de préférence à l'énergie humaine. <u>Critique PVD</u> : ce n'est pas vrai dans les PVD, l'accès à l'énergie est un facteur limitant pour le développement. • <u>Hypothèse implicite</u> : les technologies sont similaires pour un type d'inventaire où qu'on soit sur la Terre. On peut donc faire la moyenne et utiliser des données génériques (sauf cas particuliers comme électricité, etc.) <u>Critique PVD</u> : ce n'est pas vrai quand les moyens de production sont artisanaux.
3. Impacts et méthodes d'analyse d'impacts	<ul style="list-style-type: none"> • Plusieurs catégories d'impact existantes ne sont pas représentatives de la réalité du contexte local (impacts locaux) • Bilan des énergies renouvelables incomplet (manque énergie humaine) • Manquent plusieurs catégories d'impact importantes liées à l'épuisement des ressources locales (énergie totale, épuisement de l'eau, fertilité du sol,...) 	<p><u>Choix méthodologiques</u> inadéquats dans le contexte des PVD :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Choix de catégories d'impact qui correspondent aux impacts environnementaux relatifs aux pays industrialisés et parfois également à des objectifs politiques ou légaux • Choix de pondération des impacts, correspondant à des objectifs politiques, idéologiques, etc.
4. Méthode		<ul style="list-style-type: none"> • <u>Hypothèse non formulée</u> : l'étude est effectuée dans un pays industrialisé (sous-entendu : trop de pollution, nécessité ET possibilité de la réduire). Les impacts environnementaux sont un critère que l'on peut évaluer des manière isolée pour déterminer si un scénario est bon ou non. <u>Critique PVD</u> : ce n'est pas vrai quand le minimum vital n'est pas garanti. Risque de montrer que le développement est toujours négatif (pour l'environnement). <ul style="list-style-type: none"> ➤ Incompatibilité temporelle : priorité de l'immédiat (survie) sur le long terme ➤ Incompatibilité spatiale : priorité des impacts locaux sur les impacts globaux

6.2.1. Définition des objectifs et du système

Dans cette première étape du cycle de vie, un des points centraux concerne la définition des limites du système. C'est sur cette base que sont définies toutes les étapes du cycle de vie et ce qui est pris en compte dans les différents scénarios. Cette étape dont les règles sont clairement définies dans la norme ISO 14040 [ISO 2006a], n'est pas simple à réaliser dans le contexte des pays en développement. En effet, dans ces pays il y a un énorme potentiel global d'amélioration du système, les techniques de production n'étant généralement pas optimisées. L'introduction d'un nouvel élément ou la modification d'un élément existant peut donc modifier tout ou une grande partie du système. Dans les pays industrialisés, ce n'est généralement pas le cas : on étudie des variantes qui ne changent pas fondamentalement le système.

Comme le définit la norme en question, on réalise une analyse *relative*, en excluant des limites du système tout ce qui est exactement égal dans les scénarios (par exemple les infrastructures, les autres produits d'une usine, etc.). Dans les pays en développement, la définition des limites du système est plus complexe.

En effet, comme c'est le cas dans notre étude, des éléments qui *a priori* n'interviennent pas dans les scénarios étudiés et font partie du cadre dans lequel l'étude se déroule, peuvent être modifiés par l'introduction ou non d'un des scénarios. Pour la définition de ces limites, la part de l'énergie thermique qui ne change pas (= 90%) ainsi que l'électricité ont pu être exclues du système. De la même manière, le reste du système agricole (l'agriculture vivrière, incluant la fertilité du sol et la disponibilité de l'eau) a été exclu des limites car il a été considéré comme identique et ne faisant pas partie d'un scénario ou de l'autre. Cependant au cours de l'étude, force a été de constater que le système agricole lui-même allait subir des modifications importantes en raison de l'introduction d'une culture de rente. Et donc que les limites du système devaient être adaptées.

La relativité de l'analyse des impacts fait partie des fondements de l'Analyse du Cycle de Vie. Cela s'explique par plusieurs raisons. La première concerne la complexité et la dépense en temps et en moyens qu'impliquerait une évaluation absolue. En effet, il est toujours important de mettre en balance les moyens à investir en fonction de l'utilisabilité des résultats que l'on obtient. Ensuite, une étude relative permet de concentrer les efforts sur les éléments qui peuvent être influencés par les acteurs. Par ailleurs, lorsqu'on met un projet en place, il importe surtout d'identifier les impacts de ce projet, en vue de l'améliorer dès ses premières phases.

Cependant, dans le contexte ouest-africain, une évaluation absolue pourrait être plus adéquate, compte tenu des remarques faites ci-dessus sur la notion de système et de sa modification, ou pour se rendre compte de l'importance d'un impact ou l'autre. De plus, il est important de continuer à garder une proportionnalité des efforts fournis, de l'intérêt des résultats obtenus et du potentiel d'action, afin que les bénéfices soient proportionnels aux coûts engendrés.

6.2.2. Inventaire

En ce qui concerne les données d'inventaires disponibles, je constate que les bases de données existantes sont très incomplètes pour une étude en Afrique de l'Ouest. Plusieurs problèmes importants liés à la réalisation de l'inventaire ont été observés, et sont présentés ci-dessous.

Données existantes non adaptées au contexte

Tout d'abord, de nombreuses données existent mais ne sont pas utilisables car elles sont trop éloignées du contexte ouest-africain, notamment à cause des technologies utilisées, du climat, etc. Prenons comme exemple les données liées au transport. Elles sont largement développées dans la base de données Ecoinvent par exemple, et donnent des informations détaillées sur le transport en Suisse ou en Europe des personnes, des marchandises, par voie terrestre, maritime ou aérienne [Spielmann *et al.* 2007]. Cependant, en Afrique de l'Ouest, les conditions sont tellement différentes que ces données ne sont pas utilisables, ou seulement comme indication sommaire. En effet, non seulement les carburants utilisés ne sont pas de même qualité et composition, mais également la technologie des moteurs, la durée de vie des véhicules, le mode d'utilisation des véhicules (surchargement notamment) ainsi que la qualité et durée de vie des infrastructures diffèrent. De manière générale, les technologies de fabrication sont différentes dans les pays en développement, où l'artisanat et le secteur informel ont une importance reconnue. De plus, les conditions d'utilisation des objets sont également différentes des conditions d'utilisation européennes, et en particulier la durée de vie des objets est allongée au maximum.

Un grand nombre de données d'inventaires sont concernées par cet argument, car les bases de données utilisent des moyennes de plusieurs entreprises utilisant des technologies relativement proches. Les technologies utilisées dans les pays en développement peuvent être très différentes et éloignées de la "normale". Les données existantes, mais non utilisables pour cause de contexte trop différent, concernent notamment les domaines suivants : les transports, la production d'électricité, le traitement des déchets, le traitement des eaux,...

L'obtention de ces données est très difficile dans le contexte ouest-africain, et ceci pour plusieurs raisons. Les offices de statistiques ont peu de moyens, les statistiques disponibles sont très peu nombreuses et ne correspondent pas aux données que nous cherchons. Par ailleurs, l'économie informelle est souvent majoritaire et échappe à tout contrôle d'information [Charmes 1995; Roubaud 2009]. Un certain nombre de données statistiques peuvent être obtenues par le biais de la FAO ou d'autres organismes internationaux, mais elles sont très générales et leur format ne correspond pas aux besoins de l'ACV. D'autre part, les industries sont souvent très peu favorables à collaborer et transmettre des données. Dans les pays en développement, les entreprises sont souvent peu habituées à devoir transmettre

ce genre d'informations, soit parce que les lois sont peu restrictives environnementalement, soit parce que l'Etat n'a pas les moyens de faire respecter les lois établies. Elles ont donc tendance à garder la moindre donnée précieusement, ou à ne simplement pas les collecter.

Dans les pays industrialisés, il y a une culture de l'information, de la précision et des statistiques. Cela est possible par la grande connaissance des entreprises et industries existantes que nous avons. Dans les pays en développement, l'économie est largement basée sur les activités informelles et donc non déclarées. Cela n'est bien entendu pas souhaitable d'un point de vue de la gestion globale, ni voulu par les Etats. Cela laisse cependant aux individus une grande liberté et flexibilité pour rebondir en cas de coup dur par exemple. Ainsi, il n'y a pas de culture des chiffres et des statistiques dans ces pays-là. Et introduire cette manière de structurer les activités économiques n'est peut-être pas possible dans un contexte où non seulement la collecte des données pose problème mais aussi leur existence même. C'est un travail qui dépasse largement les objectifs des ACV.

Ainsi l'inventaire ne correspond pas au contexte et les résultats d'analyse sont éloignés de la réalité. Ceci est également bien illustré dans notre étude de cas par les émissions de métaux lourds dans le sol et dans l'eau, qui influencent significativement les impacts sur l'écotoxicité aquatique et terrestre. En adaptant les émissions des cultures européennes au contexte nigérian, nous réalisons que les émissions de métaux lourds sont plus fonction du contexte régional que de l'agriculture. Cependant, n'ayant pas d'informations sur la pollution des sols et de l'eau par les métaux lourds dans ces régions, il n'est pas possible d'adapter les données de manière cohérente. Le résultat est donc inexact, mais il n'est pas possible de connaître les chiffres correspondant à la réalité.

Données d'inventaires manquantes

Un grand nombre de données d'inventaires manquent et rendent la phase de récolte des données très laborieuse voire impossible. De nombreuses données liées à l'agriculture et à l'élevage manquent (semences spécifiques, modes de cultures, intrants et leur application,...), de même que toutes les productions artisanales et processus industriels semi-automatiques. Il est donc nécessaire de les déterminer spécifiquement ou d'adapter les données existantes. Certaines données nécessitent de petites adaptations (production et combustion du diesel par exemple), alors que d'autres doivent être adaptées à partir de procédés assez éloignés (production des semences, croissance des plantes, combustion de la biomasse). En conséquence, la qualité de ces données est relativement mauvaise.

Catégorie d'inventaire manquante : l'énergie humaine et animale

De plus, il manque une catégorie d'inventaire importante dans ce contexte : l'énergie humaine et animale. En effet, la majeure partie des travaux agricoles est faite par force humaine, remplacée dans nos pays industrialisés par une énergie mécanique (tracteurs, machines, etc.). Lors du bilan des énergies totales utilisées dans chacun des scénarios, les résultats d'analyse ne peuvent pas correspondre à la réalité car il n'existe actuellement aucune catégorie d'inventaire permettant de répertorier ce type d'énergie.

Hypothèse (implicite) inadaptée : énergie mécanique disponible

Dans l'Analyse du Cycle de Vie, nous partons d'une hypothèse non formulée, soit que l'énergie mécanique est disponible en abondance, et que celle-ci va être utilisée de préférence à l'énergie humaine car elle offre une plus grande liberté et décuple les moyens à disposition : puissance, lieu d'utilisation, type d'utilisation,... Dans le cas d'un pays en développement n'ayant pas vécu de révolution industrielle notamment, cette hypothèse est fautive. En effet, l'accès à une énergie plus élaborée que l'énergie humaine (énergie mécanique, électrique, etc.) est un facteur limitant du développement. Les énergies ne sont pas disponibles en abondance, et sont donc limitées.

L'énergie humaine utilisée dans le scénario 2 de production de biomasse est capitale. En effet, il n'y a aucune mécanisation dans le nord du Nigéria. C'est la force humaine et animale qui remplace le pétrole qui serait consommé si des tracteurs étaient utilisés. Une manière de comptabiliser cette énergie humaine sera abordé spécifiquement au paragraphe 6.5. Le rendement de l'énergie humaine étant relativement bas (de 16% à 24% selon Vaast [2008] et Whitt et Wilson [1981]), nous pouvons imaginer que cette comptabilisation augmenterait de manière significative le bilan de l'énergie totale utilisée pour le scénario 2. Cependant, dans le cas d'une transition vers un nouveau mode de culture plus mécanisé, la prise en compte de l'énergie humaine permet d'obtenir une comparaison plus réaliste et offre une vision moins négative du développement.

Hypothèse inadaptée : homogénéité des processus industriels

Nous pouvons identifier une autre conséquence de cette hypothèse implicite. En effet, l'utilisation de l'ACV est conditionnée par l'acceptation implicite d'être dans un monde industrialisé, et que ce monde est par conséquent homogène : les technologies existantes et utilisées sont considérées comme étant les mêmes sur toutes les parties du globe. Ainsi, la communauté scientifique considère implicitement qu'il est possible de faire une moyenne des inventaires de plusieurs usines afin d'obtenir des données génériques à entrer dans une base de données, et que l'utilisation de cette donnée donnera de toute manière des résultats proches de la réalité ou au moins du même ordre de grandeur.

Cette hypothèse est effectivement tout à fait acceptable dans la majorité des cas, dans un contexte industrialisé, où les technologies sont similaires et sont mises en œuvre de manière homogène. Cette manière de collecter les données permet de préserver la confidentialité des données. Quand les technologies diffèrent trop d'un site à l'autre, des données sont tout de même collectées et utilisées de manière plus spécifique. C'est notamment le cas pour l'électricité, dont le mode de production change énormément d'un pays à l'autre et dont les consommations et émissions doivent être prises en compte spécifiquement.

Cependant, dans un contexte qui n'est pas (encore) industrialisé, l'utilisation de données génériques peut conduire à des résultats très éloignés de la réalité. En effet, dans une société non industrielle, largement basée sur l'artisanat, les procédés, la durée d'utilisation des machines, les substances, énergies et matières consommées, déchets et émissions produits peuvent changer totalement d'un producteur à l'autre pour un même produit. Il n'y a pas de

concertation sur les méthodes de production, pas de consensus sur ce qu'il faut faire des déchets. L'économie est largement basée sur l'artisanat et le secteur informel, domaines qui par essence même ne peuvent pas être représentés par des chiffres et des statistiques génériques. Ainsi, rien ne garantit que l'utilisation de données issues d'une base de données générique (même considérée comme étant de grande qualité dans un autre contexte) aboutisse à une analyse cohérente.

6.2.3. Impacts

Lors de la réalisation de l'analyse des impacts, nous avons rencontré deux types de problèmes que nous allons développer ci-dessous.

a) *Catégories d'impact existantes non adaptées au contexte*

Le premier problème rencontré est que pour plusieurs catégories d'impact existantes, les résultats ne sont pas représentatifs de la réalité du contexte local, signe que le choix de l'indicateur ou le mode d'analyse n'est pas adéquat. Ceci concerne également des indicateurs pris au niveau de l'inventaire. Les catégories d'impact sont pertinentes, mais les indicateurs qui ont été choisis dans les méthodes couramment utilisées et reconnues par la communauté scientifique ne permettent pas de les caractériser dans le contexte d'un pays en développement.

Parmi les catégories d'impact existantes qui ne sont pas adaptées au contexte des pays en développement, nous pouvons par exemple nommer l'utilisation du sol (land use), la consommation d'eau, la santé humaine ainsi que l'inventaire des énergies renouvelables. Ces catégories semblent *a priori* être représentatives des impacts locaux importants. Cependant, une analyse des résultats obtenus montre que les impacts considérés sont éloignés de la réalité, comme je vais l'illustrer ci-dessous.

Pour **l'utilisation du sol**, l'ACV réalisée montre que le scénario 2 (culture de biomasse) utilise une part plus importante de la surface du sol que le scénario 1 (carburant fossile). L'occupation du sol par la culture de biomasse est à comparer avec l'occupation du sol sans la culture de biomasse dédiée. Selon les initiateurs du projet (Lafarge), la culture de biomasse utilise un terrain qui ne serait pas utilisé autrement : elle prend la forme de cultures en haie autour des champs de cultures vivrières ou de culture intercalaire à l'intérieur de celles-ci, techniques que les paysans ne connaissent et n'utilisent pas actuellement.

L'intérêt de cette catégorie d'impact est de savoir s'il y a une compétition entre les deux types de culture. Les techniques culturales utilisées ne devraient pas résulter en une compétition, mais il convient de le vérifier qualitativement par une observation sur le terrain et une mesure comparative de la production alimentaire sur plusieurs années sur les terrains utilisés pour la production énergétique.

En ce qui concerne la **consommation d'eau**, les résultats montrent (sans surprise) que le scénario 2 de la culture de biomasse consomme plus d'eau que le scénario 1 de l'utilisation

de carburant fossile. Cependant, ce calcul de la consommation d'eau est directement lié à la surface utilisée par les cultures. Selon les initiateurs du projet, les cultures de rente introduites utilisent du terrain non exploité, et en conséquence l'eau de pluie qui tombe sur ces terrains n'était jusqu'alors pas exploitée non plus. Etant donné qu'il n'y a pas d'irrigation, l'eau souterraine existante n'est pas modifiée.

De plus, les techniques agricoles enseignées aux paysans leur permettront de mieux lutter contre l'érosion et de conserver l'eau dans le sol un peu plus longtemps. Ce qui aura pour conséquence d'améliorer sa disponibilité pour les plantes. Ainsi, le résultat obtenu par l'addition de toutes les consommations d'eau au niveau de l'inventaire ne donne pas un résultat correspondant à la réalité. Le mode de détermination de la quantité d'eau consommée ne permet donc pas de rendre une vision proche de la réalité.

Contrairement à ce que nous pourrions penser d'après l'ACV standard, les impacts sur la **santé humaine** sont largement influencés par des paramètres locaux. En effet, plusieurs paramètres de cette catégorie d'impact sont spécifiques au contexte des pays industrialisés. Les indicateurs choisis comme étant les plus représentatifs des effets sur la santé humaine sont les substances ayant un effet cancérigène ainsi que les substances inorganiques ayant des effets sur le système respiratoire humain. Ces deux types d'effets provoquent des décès anticipés et/ou des années de vie où les personnes souffrent d'un handicap. Ceci est comptabilisé par le nombre d'années de vie perdues par rapport à l'espérance de vie moyenne dans les pays industrialisés, si l'on est atteint d'un cancer particulier ou de problèmes respiratoires provoqués par une substance. Si le PNUD [2009] estime qu'en 2006 l'espérance de vie à la naissance des Suisses était de 82 ans et celle des Américains de 78 ans, elle était seulement de 47 ans au Nigéria et de 52 ans au Burkina Faso. Elle est donc inférieure de presque 50% dans les pays d'Afrique de l'Ouest. L'on y meurt donc bien moins de cancers que d'autres maladies. Les statistiques de l'OMS présentent le SIDA, la tuberculose, la malaria, la pneumonie, la grippe et les diarrhées comme étant les principales causes de décès. La mortalité infantile y est encore très importante (en 2006, un enfant sur quatre n'atteignait pas l'âge de 5 ans au Nigéria [PNUD 2009]). Les causes de mortalité locale sont donc bien plus liées à la malnutrition, au manque d'accès aux soins et à la mauvaise qualité de l'eau qu'à un facteur industriel extérieur. Ainsi, l'indicateur choisi et son calcul ne sont pas représentatifs du contexte des pays en développement.

Par ailleurs, concernant les maladies respiratoires, elles sont également importantes en Afrique subsaharienne, mais pour des raisons naturelles. En effet, dans ces pays-là un vent venant du désert et transportant beaucoup de sable, l'harmattan, souffle plusieurs mois par année. De plus, dans les villes, une grande partie des rues ne sont pas goudronnées, et la poussière s'élève de manière très importante aux heures de trafic. En conséquence, en dehors de toutes industries et substances émises par la combustion de produits fossiles, la population est déjà soumise à de nombreux problèmes respiratoires.

Ainsi, dans les pays en développement, la santé humaine est influencée par des facteurs environnementaux, mais également économiques et sociaux. C'est pourquoi ces aspects doivent également être pris en compte lors de la caractérisation de cette catégorie d'impact.

Concernant le **bilan des énergies renouvelables**, il ne tient pas compte de l'énergie humaine utilisée, cette donnée n'étant pas répertoriée dans les inventaires. Le moyen de comptabiliser ce type d'énergie dans le bilan total sera traité plus en détail au paragraphe 6.5.

b) Catégories d'impact manquantes

Le deuxième type de problèmes rencontrés lors de l'analyse des impacts concerne l'absence de certaines catégories d'impacts. Les méthodes d'analyses existantes évaluent les impacts environnementaux dont souffre l'Occident. Elles passent ainsi à côté de problèmes environnementaux spécifiques aux pays du Sud. En effet, afin d'avoir une bonne vision des impacts environnementaux causés, il serait nécessaire de développer des indicateurs spécifiques. Cela concerne en particulier les catégories d'impact évaluant les impacts locaux. Dans le contexte du nord du Nigéria, mais certainement également dans une grande partie des pays d'Afrique de l'Ouest et des pays en développement, les dommages principaux qui devraient être évalués spécifiquement dans le cas de culture de biomasse à des fins énergétiques sont :

- l'énergie totale (y compris le bilan des énergies renouvelables),
- l'épuisement des ressources renouvelables (comme l'eau ou le bois par exemple),
- la fertilité du sol, l'érosion et la désertification,
- la biodiversité (en particulier la disparition d'espèces en raison de la disparition de leur habitat naturel).

L'évaluation de **l'énergie totale** utilisée peut être réalisée facilement sur la base de l'inventaire. Cependant en l'état actuel des choses, il ne tient pas compte de l'énergie humaine qui n'est pas comptabilisée. Or cette énergie peut être importante, comme je l'ai mentionné ci-dessus.

Pour l'évaluation des ressources renouvelables locales menacées, il faut déterminer les ressources concernées pouvant être influencées par le projet mis en place. Dans le cas du Nigéria, il s'agit principalement de l'eau. L'utilisation locale de bois n'est en revanche pas influencée par le projet en question.

L'évaluation de **l'épuisement de l'eau** peut partiellement être faite en utilisant l'inventaire. Cependant, comme je l'ai montré ci-dessus, les résultats obtenus ne sont pas forcément caractéristiques de la réalité. D'autres techniques d'évaluation devront donc être utilisées. Pour évaluer ceci, une observation qualitative sur le terrain pourrait être suffisante, comme je le détaillerai au paragraphe 6.4.2.

La **fertilité du sol** et la biodiversité sont des sujets particulièrement importants et en même temps dont l'équilibre est fragile. Dans les pays en développement, la pression humaine sur

les ressources locales est très importante et le risque de voir la fertilité d'un sol disparaître ou la biodiversité diminuer est bien présent. Pour l'évaluation de la fertilité du sol, plusieurs paramètres entrent en compte, aussi bien au niveau physique et chimique que biologique. Ces paramètres ne font pas tous partie de l'inventaire, n'étant pas tous basés sur des flux de substances. Il est donc difficile de déterminer un indicateur cohérent basé sur l'inventaire. Cependant, une évaluation de l'évolution de la fertilité du sol peut se faire de manière qualitative par l'observation de l'évolution des rendements annuels à l'hectare d'une année à l'autre.

Dans le cas de notre étude, en ce qui concerne l'épuisement de l'eau et la fertilité du sol, nous pouvons nous attendre à une évolution positive suite à l'introduction de la culture de biomasse dans le système agricole nord-nigérian. En effet, les initiateurs du projet prévoient que les techniques culturales introduites auront un effet positif sur la rétention d'eau du sol, et sur le captage de l'azote de l'air par les plantes notamment.

L'évolution de la **biodiversité** est particulièrement importante en Afrique subsaharienne. En effet, dans ces régions où la démographie a rapidement augmenté, la pression sur les ressources a également augmenté, ainsi que la destruction de zones d'habitat pour de nombreuses espèces d'animaux. La disparition de la brousse au profit de champs et l'exploitation importante, de manière non durable, des arbres comme bois de chauffe ont d'ores et déjà modifié de manière significative les espèces végétales et animales en surface, mais également dans le sol. L'équilibre est donc de plus en plus fragile. L'introduction de nouvelles techniques culturales pourrait avoir un impact important sur cette biodiversité.

L'évaluation des impacts sur la biodiversité est un des sujets actuels de développement en Analyse de Cycle de Vie. Plusieurs auteurs ont récemment publié sur le sujet (voir par exemple [Lindeijer 2000; Burke *et al.* 2008; Schmidt 2008; Geyer *et al.* 2010]) et plusieurs groupes de recherche travaillent sur ces questions. Il s'agit d'une thématique nouvelle qui pourrait faire l'objet d'une recherche approfondie.

6.2.4. Méthode

Ces observations m'ont amenée à formuler une critique plus fondamentale de l'utilisation de l'ACV dans les pays en développement. En effet, l'ACV est basée sur une hypothèse implicite, soit que le bien évalué est produit dans un pays industrialisé, ce qui a des conséquences importantes sur la manière dont l'outil et ses résultats sont utilisés. Cette hypothèse implique que tout projet de développement permettant de remplacer un travail humain par un travail mécanisé ou industrialisé sera évalué négativement en termes d'environnement. Or, le remplacement du travail humain par un travail mécanique est justement à la base de tout développement industriel.

Quelle est l'hypothèse de base?

L'Analyse du Cycle de Vie est un outil qui a été développé dans le contexte de pays industrialisés pour comparer deux alternatives d'un produit, dans le but de l'améliorer dès sa

conception. En effet, c'est dans cette étape du cycle de vie que le levier d'action est le plus grand. On part donc généralement d'un produit existant que l'on compare avec une alternative. Un certain nombre d'éléments du cycle de vie et du contexte sont généralement identiques et peuvent donc être ignorés dans l'analyse.

J'observe que l'Analyse du Cycle de Vie est fondée sur une hypothèse implicite que nous sommes dans un pays "développé" ou "industrialisé". En effet, il y a un consensus dans nos pays industrialisés pour constater que notre société exerce une pression trop importante sur l'environnement en général, et que la Terre peine à absorber les perturbations qui lui sont imposées. Nous considérons donc une situation où nous émettons une quantité trop importante de substances et polluants, et où l'Homme a un impact trop important sur son environnement global et local. Nous cherchons donc à trouver des solutions afin de diminuer nos impacts. Si nous reprenons les trois piliers du développement durable, nous considérons généralement que les questions sociales sont globalement réglées dans nos pays, ou au moins qu'un consensus minimal et suffisant pour protéger la vie humaine est offert aux citoyens, grâce aux assurances sociales qui garantissent l'accès (minimal) aux soins et une rente aux handicapés et personnes âgées. Du point de vue économique, nous considérons également que les démocraties établies permettent à chacun de défendre ses intérêts. Par ailleurs, ces grands thèmes que sont la société et l'économie sont considérés généralement comme hors du système ou du réseau d'influence des entreprises. Ainsi, dans ce contexte industrialisé, l'Analyse du Cycle de Vie est un outil qui permet de comparer deux scénarios et de montrer lequel sera le moins défavorable à l'environnement. Ceci est couramment considéré comme suffisant pour caractériser les principaux impacts sur la durabilité.

Dans nos pays industrialisés, les problèmes environnementaux considérés comme les plus importants et les plus sensibles sont ceux qui ont lieu sur le long terme, et dont les impacts sont globaux plutôt que locaux. En effet, les impacts locaux et à court terme sont généralement déjà résolus par le biais des lois environnementales. L'Etat étant considéré comme fort, il est en mesure d'assurer la mise en œuvre de ces réglementations environnementales. Pour ce type d'impact, il est (relativement) aisé de faire le lien entre l'impact et la cause de l'impact, et donc avec le responsable de l'impact. En ce qui concerne les impacts globaux et sur le long terme, ils impliquent une certaine dilution de responsabilité. Il y a donc un consensus sur la nécessité de réduire les impacts globaux par d'autres moyens. L'ACV permet de faire ressortir l'importance et la possibilité d'améliorations individuelles. En conséquence, les méthodes d'analyse pondèrent et favorisent une analyse des impacts globaux et ayant lieu sur le long terme, de manière à favoriser les scénarios permettant de diminuer ces impacts.

Pourquoi cette hypothèse ne correspond-elle pas avec le contexte, qu'est-ce qui est différent?

Dans les pays en développement, notamment en Afrique de l'Ouest, l'impact de l'homme sur l'environnement doit être considéré différemment. Dans un contexte où tout est géré dans

l'urgence et où une grande pression est exercée sur les ressources locales, nous pouvons noter que les impacts environnementaux locaux sont plus urgents à résoudre que les impacts planétaires, et que les impacts sur le court terme sont plus critiques et plus urgents à résoudre que les impacts sur le long terme.

Les problèmes que représentent la déforestation liée à l'utilisation de bois pour l'énergie domestique ou la salinisation des sols illustrent bien ceci car ils ont un impact direct et à court terme sur les populations actuelles, et doivent être maîtrisés de manière urgente pour garantir la vie en bonne santé de ces populations. Au contraire, les émissions provoquant un impact sur le réchauffement global auront un effet sur le long terme qui ne touchera que les générations futures. La participation des activités ouest-africaines à ces émissions globales est par ailleurs pour l'instant assez faible¹. C'est donc plus l'adaptation au réchauffement climatique qui importe (et donc des actions locales ayant des effets déjà à court terme), qu'une réduction des émissions de gaz à effet de serre.

L'évaluation des impacts environnementaux est un élément qui, dans un pays industrialisé permet de choisir entre deux scénarios ou sur lequel nous pouvons nous baser presque exclusivement pour améliorer la durabilité d'un produit (en tenant compte des modifications des coûts de production). Ce n'est pas le cas dans un pays en développement, où d'autres critères sont également urgents à prendre en compte. L'urgence d'agir concerne bien entendu l'environnement car l'Homme exerce une pression très forte sur les ressources, notamment de par l'accroissement rapide de la population, mais également à cause de la mauvaise gestion des ressources existantes. Mais c'est loin d'être le seul élément du cadre de vie ouest-africain à nécessiter une action urgente. Le minimum vital n'étant pas garanti, il y a un urgent besoin de considérer toutes sortes de problèmes dont les causes sont multiples, mais souvent pas environnementales. Par exemple :

- Problèmes de santé dus à la malnutrition et au manque d'accès aux soins (par manque de moyens financiers et de médecins en zones rurales), maladies dues à la mauvaise qualité de l'eau ou au manque d'eau,
- Bas potentiel économique, limitant les possibilités d'investissement et les moyens de prévenir les risques ou de surmonter les imprévus,
- Manque d'éducation et de formation à tous les niveaux (de l'éducation des enfants à la formation professionnelle).

L'environnement naturel est un de ces sujets de protection urgents. L'Analyse du Cycle de Vie ne permet pas d'évaluer l'ensemble de ces problèmes, mais uniquement ce qui concerne l'environnement.

¹ voir les statistiques du Global Footprint Network, [GFN 2009]

Quelle conséquence cette hypothèse a-t-elle sur les résultats?

Le problème est donc qu'une application aveugle de l'ACV dans les pays en développement pourrait amener à des conclusions très contestables². Nous pourrions ainsi prouver en utilisant l'ACV que de ne pas être développé est meilleur pour l'environnement, qu'en conséquence le sous-développement est bon et que d'être développé n'est pas durable pour l'environnement. Cela est certainement partiellement vrai (en termes d'impacts environnementaux), mais de telles conclusions doivent être formulées avec beaucoup de précaution dans une région où le minimum vital n'est pas garanti. De telles conclusions pourraient par exemple servir à justifier une politique ne cherchant pas à soutenir le développement d'un pays ou d'une région...

Par exemple, si nous comparons l'utilisation de la seule force humaine pour la culture d'un hectare de sorgho avec l'utilisation d'un tracteur, il est clair que l'utilisation d'un tracteur serait moins favorable à l'environnement car celui-ci consomme de l'énergie fossile alors que la force humaine n'est pas comptabilisée comme énergie par les méthodes d'analyse actuelles. Mais ce genre de conclusions doit être exprimé avec toute la nuance et la réserve qu'exige une ACV sur la précision des résultats. De plus, si nous convenons que chaque être humain a droit à un minimum vital [Commission des droits de l'homme 1948, article n°25], il est important de relativiser ces impacts environnementaux face aux autres impacts possibles. Il est nécessaire de trouver un équilibre entre la réduction des impacts environnementaux et un développement socio-économique minimal. Il conviendrait éventuellement d'intégrer dans l'analyse l'évaluation des conséquences de la modification du système (ACV conséquentielles) et les effets rebonds potentiels (débat inter/intragénérationnels).

Dans le contexte d'un pays industrialisé, le choix d'un scénario ne va pas remettre en cause le fondement de la société, ni provoquer un cataclysme économique pour la population du pays, ceci étant généralement hors du rayon d'influence d'une entreprise. En effet, le minimum vital est garanti pour chacun, et les choix sont souvent à faire au niveau du "superflu", des modes de transport et des modes de vie. Choisir une option plutôt qu'une autre ne mettra personne dans une situation de précarité³, mais demandera peut-être un peu plus d'efforts, de payer un peu plus cher ou d'abandonner un peu de confort.

Au contraire, dans le contexte des pays ouest-africains, ce n'est pas de confort que l'on parle, mais de minimum vital. Une grande majorité de la population a un niveau de vie très bas, dans une grande précarité et sans sécurité alimentaire. L'accès aux ressources est souvent limité. Les acquis ne sont donc pas les mêmes que dans les pays industrialisés. Dans ce contexte, un produit ou un service comparé à la situation actuelle où ce produit

² Une application aveugle doit bien entendu également être évitée dans les pays industrialisés, où l'ACV fait généralement partie d'une analyse multi-critères plus large.

³ Notons que ceci est tout relatif, sachant qu'une entreprise peut par exemple choisir de délocaliser sa production pour des raisons économiques et/ou environnementales (réglementations moins contraignantes par exemple), ce qui aura des conséquences sociales manifestes pour les employés des usines fermées et nouvellement ouvertes!

n'existe pas peut avoir un impact environnemental plus important, alors même qu'il permet un développement local, une diminution de la précarité, un allongement de la durée de vie, etc. Au contraire, il peut diminuer les impacts environnementaux, mais résulter en une modification de l'organisation du travail local ou supprimer une source de revenu centrale sans proposer d'alternative pour éviter un exode de la population. L'optimisation environnementale formelle uniquement peut ainsi résulter en un désastre social informel, ce qui n'est pas souhaitable.

6.2.5. Conclusion

Comme je viens de le montrer, l'utilisation de l'Analyse du Cycle de Vie en Afrique de l'Ouest, comme dans d'autres pays en développement, pose problème. En effet, dans ce contexte non industrialisé, les données ne correspondent pas forcément aux technologies employées et le choix des impacts évalués n'est pas entièrement représentatif des impacts environnementaux locaux. Nous nous rendons compte que l'ACV est basée sur plusieurs hypothèses implicites qui ne correspondent pas au contexte des pays en développement.

Considérer que cet outil d'évaluation environnementale est suffisant dans un premier temps pour évaluer la durabilité d'un projet ou d'un produit est un raccourci qui est souvent fait. Ce n'est d'ailleurs pas le propre de l'ACV. En effet, les problèmes environnementaux (limite des ressources et pollutions) étaient, dans les années 1970, à la base de la réflexion et des débats qui ont débouché sur la définition du Développement Durable. C'est donc tout naturellement que les efforts se sont concentrés dans un premier temps sur l'environnement. Cela permet également, d'un point de vue politique, de ne pas avoir à toucher aux questions de gouvernance, ni de remettre en question les modèles sociaux et économiques qui nous ont apporté un plus grand bien-être au sortir des deux guerres mondiales. Cependant, nous nous rendons compte de toutes parts depuis les années 2000 que ce n'est pas suffisant. Les ONG et la société civile mettent de plus en plus de pression pour que la gouvernance mondiale règle les questions sociales et économiques. Nous voyons par ailleurs de plus en plus d'entreprises adopter des chartes sociales, et mettre en œuvre des stratégies pour la responsabilité sociale d'entreprise (RSE). Le développement de normes, labels et standards va également dans ce sens : normes ISO 26'000 [ISO 2010], Global Reporting Initiative [GRI 2006], etc. Ainsi, même dans les pays industrialisés, où des minimums sociaux et économiques sont plus ou moins acquis pour la population, la pression augmente pour que les trois piliers du développement durable soient considérés à égale valeur.

Avec les constats décrits ci-dessus, nous avons réalisé que dans les pays en développement ces trois piliers sont très difficilement séparables. Par exemple, les questions de santé humaine sont autant liées à l'environnement (substances pouvant provoquer des maladies/morts) qu'à des aspects économiques et sociaux (accès à un réseau de santé et qualité de celui-ci par exemple).

Toutes ces critiques pratiques et plus fondamentales m'amènent à remettre la question de l'adéquation de l'utilisation de l'Analyse du Cycle de Vie pour réaliser l'évaluation des impacts environnementaux. La réponse que je vais apporter dans les prochains paragraphes aboutira à la proposition d'un cadre méthodologique spécifique pour les pays en développement.

Tout d'abord, considérons la philosophie dont est issue l'ACV : la notion de cycle de vie, ou Life Cycle Thinking. Cette philosophie n'est pas remise en cause par nos critiques. Au contraire, l'évaluation d'un produit ou d'un service sur tout son cycle de vie garde tout son sens dans le cadre des pays en développement. Elle permet d'avoir une vision large et intégrée des impacts et pourrait être utilisée comme base à l'évaluation de la durabilité d'un projet ou d'un produit. Une évaluation comparative des impacts dans ce contexte devrait donc se baser sur plusieurs critères (dont l'environnement) dans une vision holistique du cycle de vie mais avec des inventaires propres et des catégories d'impact propres.

Au-delà des problèmes pratiques de l'utilisation de l'ACV, qui seront contournés dans les prochaines pages, c'est la forme des résultats qui doit être adaptée au contexte des pays en développement.

En effet, dans le contexte d'un projet mis en place dans une zone rurale d'un pays en développement, les résultats doivent pouvoir être opérationnels rapidement. Il s'agit donc plus d'avoir une indication sur l'atteinte d'objectifs fixés, que d'avoir un résultat des impacts relatifs du projet, mesuré avec une grande précision.

Les prochains paragraphes décriront plus en détail comment une évaluation de l'environnement et de la durabilité d'un projet, inspirée de la pensée holistique du cycle de vie, peut être utilisée dans les pays en développement.

6.3. Cadre méthodologique pour l'établissement d'une méthodologie d'évaluation adaptée aux pays en développement

Suite aux différents constats faits au paragraphe 6.2 et à la recherche de littérature sur les outils d'évaluation de la durabilité présentée au chapitre 3, j'ai développé un nouveau cadre méthodologique pour définir une méthodologie d'évaluation de la durabilité pour les projets mis en place dans les pays en développement. La méthodologie définie est propre à chaque projet et accompagne la mise en place du projet de Symbiose Industrielle dès les premières phases. Le cadre méthodologique qui permet d'établir la méthodologie d'évaluation est, lui, générique. L'utilisation de ce cadre méthodologique permet de définir un certain nombre de critères pour l'évaluation de la durabilité du projet, qui touchent l'ensemble des impacts sociaux, économiques et environnementaux que le projet pourrait provoquer. L'évaluation de ces critères se fera de manière semi-quantitative.

En effet, chaque critère peut être évalué grâce à un ou plusieurs indicateurs qualifiables. Une grille d'évaluation permet ensuite, à l'image de ce que la méthode Hermione [Flourentzou *et al.* 2003] propose, de déterminer si le résultat est favorable ou défavorable. Cette grille d'évaluation peut être agrémentée de couleurs pour permettre une vision rapide, claire et synthétique (figure 6.1).

Très défavorable --	Défavorable -	Neutre 0	Favorable +	Très favorable ++
-------------------------------	-------------------------	--------------------	-----------------------	-----------------------------

Figure 6.1 : Echelle de valeur pour les indicateurs de durabilité

Comme le mentionnent les différents outils existants pour l'évaluation de la durabilité [GRI 2006; ARE 2007], quelques principes ou règles d'or doivent être respectés pour garantir l'adéquation de l'évaluation et la qualité des résultats. Parmi les conseils couramment donnés, nous pouvons retenir les suivants :

- Evaluer en équipe : Afin que l'évaluation ne soit pas biaisée par la position de l'évaluateur et que tous les points de vue importants soient défendus, il est important que plusieurs acteurs participent à une évaluation socio-économique.
- Définir la finalité : déterminer ce que l'on souhaite tirer des résultats obtenus. Quel est le but d'une telle évaluation? Est-ce plutôt un état des lieux ou un moyen d'aider à la décision d'un scénario ou encore un moyen d'améliorer une situation?
La méthodologie que je souhaite pouvoir utiliser dans le cadre des Symbioses dans les PVD a pour but d'évaluer les impacts sur le développement durable afin d'améliorer le projet dès les premières étapes de réalisation.
- Définir des critères de pertinence : La création d'un outil d'évaluation des impacts socio-économiques ou de durabilité propre à un certain type de projet permet de faire une évaluation adéquate et ciblée. Il est donc nécessaire de définir clairement et précisément dans quel cas l'outil est adapté et doit être utilisé.
L'outil qui nous intéresse doit être utilisable pour tout projet de Symbiose Industrielle dans les pays en développement.
- Noter les réflexions et hypothèses dans l'outil au moment de l'évaluation. En effet, dans le cas où l'évaluation d'un projet sur les impacts socio-économiques est faite avec pour objectif d'améliorer les performances, il est important d'avoir un suivi de l'évolution des arguments, en particulier en ce qui concerne les points négatifs.
- Définir un état de référence ou un référentiel de comparaison.
- Déterminer précisément les limites spatiales et temporelles de l'évaluation.

Sur la base de ces considérations, je propose ainsi un nouveau cadre méthodologique pour établir une méthodologie d'évaluation de la durabilité d'un projet en Afrique de l'Ouest. Ce cadre est une stratégie constituée de six étapes représentées à la figure 6.2.

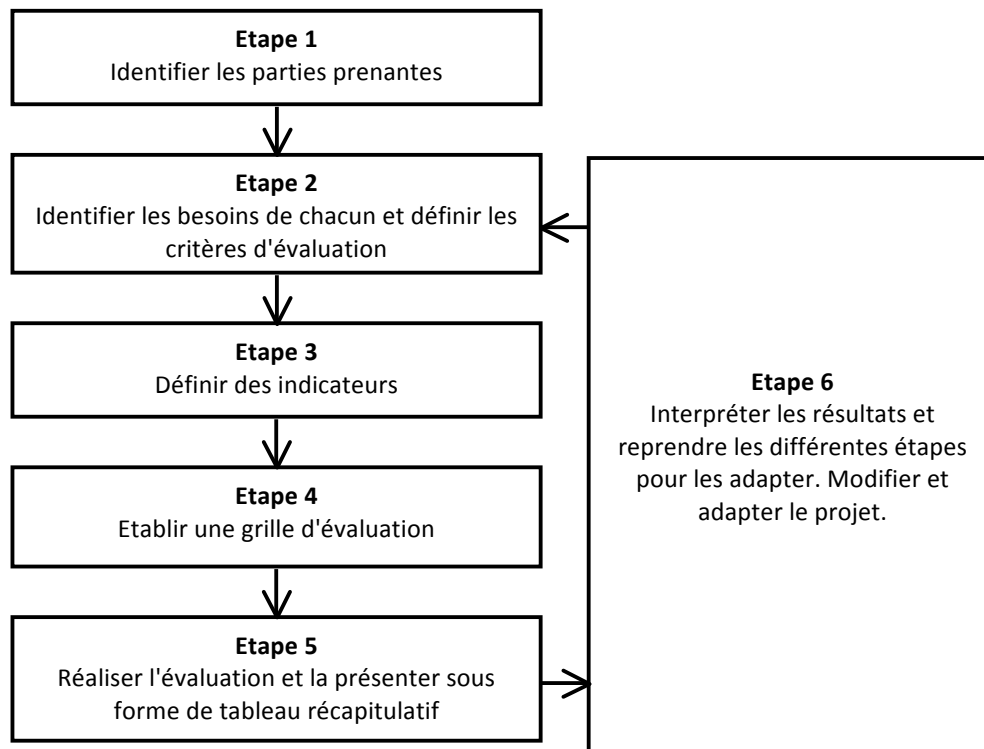


Figure 6.2: Etapes pour l'établissement d'une méthodologie d'évaluation de la durabilité propre à un projet de Symbiose Industrielle

- **Etape 1** : Le but de cette étape est de déterminer clairement le cadre de l'évaluation, les limites du système à évaluer, les objectifs de l'évaluation et les acteurs concernés. Lors de cette première étape, on identifie les parties prenantes au projet à mettre en place et on détermine les besoins de celles-ci relativement au projet. Ceci peut être réalisé par chaque partie séparément, sous forme de table ronde ou encore par un mandataire externe qui identifie les besoins sur la base d'entretiens et fait en sorte d'ensuite proposer un projet qui répond à ces différents besoins.
- **Etape 2** : La deuxième étape consiste à définir une hiérarchie des besoins et des critères d'évaluation. Les critères prioritaires sont ceux qui doivent absolument être atteints pour que le projet puisse se réaliser. Les autres critères sont considérés comme secondaires.
- **Etape 3** : Afin de pouvoir évaluer ces critères, des indicateurs sont définis dans une troisième étape. Ces indicateurs sont qualitatifs, semi-quantitatifs ou quantitatifs.
- **Etape 4** : La quatrième étape consiste à définir pour chaque indicateur une grille d'évaluation allant de - - (l'objectif n'est pas du tout atteint) à ++ (l'objectif est totalement atteint).
- **Etape 5** : La cinquième étape consiste à évaluer le projet et à noter au fur et à mesure les réflexions et hypothèses faites pour chaque critère ou indicateur afin de pouvoir ultérieurement avoir une trace de tout cela. Il faut de plus représenter l'ensemble des critères évalués dans un tableau récapitulatif indiquant par un code de couleur les résultats de chaque évaluation, permettant d'identifier de manière très simple les critères

nécessitant encore une adaptation du projet pour qu'ils puissent être atteints. Pour une meilleure visibilité, il est possible de séparer les critères prioritaires des critères secondaires. L'ensemble des critères prioritaires doit avoir une évaluation positive (+ ou ++) pour que le projet puisse aller de l'avant et être réalisé.

- **Étape 6** : La sixième étape, qui se fait de manière itérative, consiste à adapter et corriger le projet pour faire en sorte d'atteindre tous les objectifs fixés.

Pour l'évaluation des impacts environnementaux selon la nouvelle méthodologie que je propose dans ce travail, l'utilisation de l'Analyse du Cycle de Vie reste intéressante. Dans un premier temps, il est donc nécessaire de résoudre les problèmes pratiques et méthodologiques qui ont été observés pour l'utilisation de cet outil (paragraphe 6.4, 6.5 et 6.6). Ces problèmes résolus, il convient alors de déterminer des critères d'évaluation pour l'environnement selon la méthodologie proposée, ainsi que des indicateurs pertinents et une grille d'évaluation (paragraphe 6.7). En effet, contrairement à des résultats classiques que pourraient fournir une ACV, les résultats des indicateurs doivent encore être analysés et qualifiés selon la grille d'évaluation d'atteinte des objectifs.

Pour l'évaluation des impacts sociaux et économiques, la définition des critères d'évaluation découlera naturellement des objectifs et besoins des parties prenantes. En suivant la stratégie donnée par le cadre méthodologique étape par étape, nous obtiendrons alors une méthodologie complète pour l'évaluation de la durabilité du projet de Symbiose Agro-Industrielle.

Un aspect sur lequel je souhaite insister concerne le mode d'évaluation qui doit intégrer les différentes parties prenantes. En effet, ce type d'évaluation étant volontaire, n'étant pas basé sur une norme, ni sur des indicateurs fixes, la participation des différentes parties prenantes est le seul moyen de garantir la qualité et la validité des résultats, et finalement la durabilité du projet mis en place. Un organisme souhaitant utiliser cet outil ne le fait pas sous contrainte, mais uniquement dans le but d'une auto-évaluation qui garanti qu'elle atteint les objectifs qu'elle s'est fixée. La prise en compte de tous les points de vue et besoins dans l'évaluation est conditionnelle à la bonne qualité des résultats.

6.4. Modification de l'ACV pour une évaluation dans les pays en développement

Le premier problème à résoudre pour pouvoir utiliser l'ACV dans les pays en développement est de gérer le décalage entre les objectifs standards de l'Analyse du Cycle de Vie tels qu'ils ont été définis dans les pays industrialisés (réduire les impacts environnementaux), et ceux plus spécifiques aux pays en développement (améliorer la gestion environnementale, sociale et économique locale). En effet, j'ai montré précédemment que l'ACV a été développée sur la base de quelques hypothèses implicites (et

donc non formulées) qui ne concordent pas avec le contexte des pays en développement. Je montrerai donc comment faire en sorte que ces hypothèses ne soient pas en contradiction avec une utilisation de l'ACV dans les pays en développement.

Abordons la question des trois hypothèses implicites liées à l'Analyse du Cycle de Vie qui ont été identifiées comme posant problème, par ordre d'importance :

1. Première hypothèse : le projet (et l'évaluation) a lieu dans un contexte industrialisé, dans un pays développé, qui pollue trop et qui a les moyens de réduire ses impacts. Nous avons besoin d'un outil pour choisir, dès la conception, entre plusieurs scénarios celui qui pollue le moins sur tout son cycle de vie. Dans ce cadre, la réduction des impacts environnementaux est considérée comme un sujet qui permet de décider entre plusieurs scénarios, un consensus minimal étant déjà obtenu pour les questions économiques et sociales.
2. Deuxième hypothèse : il y a de l'énergie mécanique à disposition et ce n'est donc pas un facteur limitant. Cette énergie mécanique (ou que nous pourrions qualifier d'artificielle par opposition à l'énergie humaine et animale) est basée sur l'existence et la disponibilité d'un vecteur énergétique qui peut être transformé en électricité ou chaleur, être utilisé tel quel ou transformé en travail mécanique par l'usage d'une machine. Un espoir illusoire se base sur les énergies "renouvelables", qui sont pour certaines malgré tout épuisables.
3. Troisième hypothèse : les technologies sont suffisamment similaires pour qu'on puisse utiliser des données qui sont des moyennes de plusieurs usines différentes.

J'ai expliqué dans les paragraphes précédents pourquoi ces hypothèses posent problème. Nous verrons ci-dessous comment aborder les problèmes pratiques liés à l'inventaire et aux catégories d'impact, puis aborderons les questions méthodologiques et verrons comment faire en sorte que l'ACV puisse quand même être utilisée et soit cohérente.

6.4.1. Résoudre les problèmes d'inventaire

Les problèmes rencontrés par rapport à l'inventaire concernent en premier lieu le manque de données d'inventaire et l'inadaptation de certaines données existantes. A cela s'ajoute le fait qu'il manque une catégorie d'inventaire importante : l'énergie humaine. Je vais parler de la question de la comptabilisation de l'énergie humaine au paragraphe 6.5 et j'aborderai donc ici essentiellement le problème de manque de données.

Manque de données ou inadaptation des données existantes

Pour faire face au manque de données d'inventaire ou à l'inadaptation de données existantes, il n'y a à l'heure actuelle pas d'autre moyen que d'adapter les données existantes au contexte, comme le propose Notten [2009]. En effet, il est important de garder en mémoire que le temps investi pour une analyse doit être proportionnel au gain de connaissance que cette analyse permet d'avoir. Ainsi, l'adaptation des données existantes peut être réalisée. Elle

nécessite une bonne connaissance du contexte de la donnée existante (pour savoir de quel processus proviennent certaines émissions) et du contexte auquel nous souhaitons l'adapter. Notten [2009] montre qu'il est possible d'adapter les données existantes en utilisant les processus unitaires qui les construisent. En effet, dans certaines bases de données comme Ecoinvent, chaque donnée est faite de processus unitaires. En utilisant un logiciel adéquat (comme Simapro), il est possible d'adapter les données en conservant la structure, mais en adaptant les processus unitaires au contexte. Ainsi, par exemple, nous utiliserons du diesel avec la composition adaptée, et l'électricité produite à partir de charbon avec la technologie adaptée au contexte. Notten montre en particulier que certaines données (comme l'électricité et les matériaux utilisés) sont assez simples à adapter, alors que d'autres données (comme le carburant) sont plus difficiles à adapter et plus sujettes à des erreurs.

Dans notre étude de cas, de nombreuses données ont dû être adaptées : combustion de carburant LPFO, semences, croissance des plantes, etc. Afin de ne pas dépenser de temps inutile dans des adaptations de moindre importance, une priorité est mise pour les données les plus importantes. Une révision a été faite une fois les résultats de l'analyse d'impacts disponibles, afin d'éliminer les erreurs importantes et claires liées notamment à des émissions propres au contexte européen.

A cela s'ajoute l'inventaire de l'énergie humaine consommée, qui en soi est également une information difficile à obtenir et sujette à de nombreuses erreurs d'évaluations, et qui sera ajoutée dans la nouvelle méthodologie proposée pour cette étude.

Le tableau de qualité des données réalisé pour l'ACV de notre étude de cas nigériane spécifie pour chaque donnée si elle a été prise telle quelle d'Ecoinvent, si elle a été adaptée de la base de donnée Ecoinvent, ou si elle a été mesurée/calculée.

Adéquation des données à la réalité modélisée

Je mentionnais précédemment qu'une hypothèse implicite posait problème dans le cadre des pays en développement pour la réalisation d'inventaires et l'utilisation de données tirées de bases de données. Il y a donc une nécessité de porter attention aux technologies représentées par les données utilisées lors de l'ACV. La norme ISO 14040 demande de tenir à jour un tableau de qualité des données. Dans le cas d'un pays en développement, je propose d'y ajouter une colonne **qui mentionne l'adéquation de la donnée avec la réalité**.

Lorsque les données sont jugées trop éloignées de la réalité à cause de la variété des technologies individuelles employées dans les pays non industrialisés, une estimation plus spécifique est nécessaire.

De plus, afin d'avoir une vision cohérente des résultats des différents scénarios, il sera souvent nécessaire de vérifier que les limites du système tiennent compte de tout ce qui est modifié entre les différents scénarios. Cela signifiera bien souvent qu'il faudra élargir les limites du système (par rapport à une étude similaire effectuée dans un pays industrialisé) afin d'intégrer les modifications à l'intérieur du système. Ainsi, dans ce contexte non industrialisé, les ACV conséquentielles prennent tout leur sens. Intégrer les conséquences sur le système dans l'évaluation de l'introduction d'un produit ou d'un scénario peut être un

moyen d'élargir la vision et d'inclure d'éventuelles diminutions ou augmentations d'impacts environnementaux qui en résulteraient.

Un débat a lieu au sein de la communauté des chercheurs en ACV, afin de déterminer quel type d'ACV est le plus approprié. Les ACV attributionnelles, qui évaluent les impacts environnementaux de manière restrictive (from cradle to gate), c'est-à-dire les impacts strictement et directement provoqués, s'opposent aux ACV conséquentielles qui adoptent une vision très large et cherchent à inclure dans l'évaluation les conséquences d'une décision sur le système [Finnveden *et al.* 2009]. Cela pose bien entendu la question de l'évaluation de l'effet rebond [Zamagni *et al.* 2008]. Il n'y a pas actuellement de consensus sur la méthode appropriée, mais j'estime que dans le contexte des pays en développement, réaliser une ACV devrait se faire dans une optique conséquentielle.

6.4.2. Résoudre les problèmes d'analyse des impacts

Je le mentionnais dans ma critique, certaines catégories d'impact existantes ne sont pas représentatives de la réalité du contexte local. L'utilisation du sol, la consommation d'eau, la santé humaine et l'inventaire des énergies renouvelables ont ainsi été identifiés et des pistes ont partiellement été évoquées au paragraphe 6.2.3. De plus, comme le mentionnent Haas *et al.* [2000] et Milà i Canals *et al.* [2007], lors d'un écobilan pour évaluer les impacts environnementaux liés à l'agriculture, des catégories d'impact locales et spécifiques au site étudié doivent être définies. En conséquence, et suite aux observations faites dans l'étude réalisée, je propose d'ajouter l'évaluation des catégories d'impact suivantes pour des études en zone rurale d'Afrique de l'Ouest :

- fertilité du sol
- épuisement des ressources renouvelables (eau et bois en particulier)
- énergie totale
- biodiversité

Ces nouvelles catégories d'impact à observer complètent les catégories existantes qui doivent être adaptées, comme nous le verrons ci-dessous.

Utilisation du sol et fertilité

La catégorie d'impact existante "utilisation du sol" est particulièrement intéressante conceptuellement dans le cas que nous traitons, car elle comptabilise la surface de sol utilisée. Cependant, pratiquement, elle ne permet pas de différencier les types d'utilisation du sol et c'est en ce sens qu'elle est incomplète.

Le problème ou risque qui devrait pouvoir être mesuré par cet indicateur concerne la potentielle compétition entre les cultures de rente et les cultures vivrières. Il est souhaitable, voire même nécessaire que la production alimentaire régionale ne soit pas diminuée par l'introduction de la culture de biomasse. En effet, il n'y a pas de sécurité d'approvisionnement dans la région : il y a très peu de surproduction régionale, les infrastructures routières sont en très mauvais état, et les douanes policières multiples ou autres barrages sont un frein évident au transport de nourriture en vue de sa

commercialisation. Ainsi, même avec un revenu supérieur, il n'est pas garanti de pouvoir acheter des céréales.

Le contrôle de la compétition entre cultures vivrière et cultures de rente n'est pas vérifiable en utilisant uniquement des données génériques tirées de bases de données. C'est par l'observation que seront déterminés la répartition entre les différents types de cultures et le risque auquel sont soumises les cultures vivrières. Par ailleurs, l'évolution de la fertilité du sol est également un paramètre très sensible. Mila i Canals *et al.* [2007] mentionnent qu'il n'y a actuellement, parmi les méthodes d'ACV, aucune méthode largement acceptée pour évaluer les impacts sur le sol. Nous ne pouvons donc pas nous appuyer sur les méthodes existantes.

Les sols de la région sont actuellement très peu fertiles et la déforestation est également très avancée. De grands espaces sont déjà transformés en cuirasse, le sol ayant durci sous l'effet de l'alternance saison sèche/saison humide, du soleil et du manque de structure racinaire dans le sol, formant comme une carapace de pierre qui le rend durablement totalement infertile. Il est donc absolument nécessaire d'éviter que ces sols s'appauvrissent encore plus.

Un indicateur est donc nécessaire pour évaluer l'évolution de la production vivrière locale, influencée par l'espace à disposition et par la fertilité des sols.

Il n'est en soi pas possible d'aller sur chaque parcelle pour mesurer l'espace dédié à chaque culture, ni d'effectuer un suivi annuel de la composition du sol et des autres paramètres influençant la fertilité, car cela demanderait des connaissances et des moyens techniques disproportionnés. Par contre, un moyen assez simple est d'utiliser une information que chaque paysan connaît pour ses champs : la quantité de céréales produite pour un an. Il est donc possible, pour les personnes qui mettent en place un tel projet de prendre un échantillon représentatif des paysans ou d'associations de paysans et de recenser les diverses quantités produites annuellement, puis de comparer l'évolution sur plusieurs années.

L'indicateur que je propose d'utiliser est le **nombre de kg de sorgho produits pendant une année sur un hectare ou dans une ferme/exploitation familiale.**

Eau

Les résultats de la consommation d'eau illustrent bien la nécessité de redéfinir correctement les limites du système. En prenant en compte dans les limites du système tout le terrain sur lequel a lieu la culture de biomasse et en incluant la culture vivrière associée, les résultats seront plus cohérents. Par ailleurs, l'eau étant une ressource rare et limitée dans cette région, il importe de s'assurer qu'elle soit utilisée correctement.

Une stratégie appropriée à appliquer dans un tel contexte est de faire un bilan comparatif de la quantité d'eau à disposition (pluie, réserves souterraines, autres réserves) et de celle réellement utilisée (consommation par les plantes, consommation locale annuelle, etc.), basé

sur une observation des flux régionaux et non sur une base de données, et en prenant des limites du système appropriées.

Si la proportion est faible, alors il n'est pas nécessaire de faire une analyse plus poussée. Si la proportion est élevée, il est important de mettre en place une stratégie de gestion adaptée ou de discriminer le scénario en question.

Santé humaine

Les impacts sur la santé humaine sont par essence une catégorie d'impact importante. Mais comme je l'ai montré, cette catégorie est largement influencée par des paramètres locaux : maladies considérées (cancers et maladies respiratoires) et espérance de vie à la naissance.

Ainsi, pour déterminer si cette catégorie d'impact est importante dans le cadre d'un projet réalisé dans un pays en développement, nous pouvons nous baser sur une observation qualitative de la différence que va amener la mise en place du projet sur les paramètres locaux influençant les impacts sur la santé humaine : substances toxiques émises dans l'eau, l'air ou le sol, augmentation des zones de marais (ou autres lieux de reproduction des parasites), etc. Si ces paramètres ne sont pas modifiés, nous pourrions laisser cette catégorie de côté. S'ils sont modifiés, un suivi des substances spécifiques est alors important.

Energie

Concernant l'inventaire des énergies renouvelables, nous observons que l'énergie principale utilisée dans les régions rurales des pays en développement est l'énergie humaine. Ainsi, un bilan des énergies totales utilisées devrait inclure cette énergie renouvelable. Le paragraphe 6.5 donne une réflexion sur la comptabilisation de l'énergie humaine.

Biodiversité

L'évaluation des impacts sur la biodiversité peut se faire dans un premier lieu de manière qualitative : observer si l'introduction du nouveau projet va modifier de manière importante la biodiversité, notamment augmenter la coupe de bois sauvage, diminuer le nombre d'espèces végétales cultivées, etc. Des études plus approfondies sont nécessaires pour déterminer plus précisément les éléments clés de la biodiversité à observer, ainsi que les substances spécifiques concernées.

Si ces éléments sont modifiés, une évaluation plus détaillée doit être faite, sinon nous pourrions laisser cette catégorie de côté.

6.5. Comptabilisation de l'énergie humaine

L'accès à l'énergie est un facteur limitant les activités économiques, aussi bien dans les pays industrialisés que dans les pays en développement. Dans ces derniers, l'énergie est chère et peu disponible. L'énergie humaine, elle, reste disponible et est donc largement utilisée, alors qu'elle a été remplacée dans les pays industrialisés par de l'énergie mécanique ou électrique basée sur des carburants fossiles.

Les catégories d'inventaires définies pour l'analyse du cycle de vie n'incluent pas l'énergie humaine. Cela se justifie tout à fait dans les pays industrialisés, où ce type d'énergie est négligeable relativement aux autres types d'énergie utilisés. Cependant, dans les pays en développement, et en particulier dans les zones rurales, où l'accès à l'énergie est limité, une grande partie de l'économie est basée sur l'énergie humaine (60% selon Hicks [1997]). Il est donc nécessaire de comptabiliser cette énergie qui n'est plus négligeable.

Il s'agit donc de déterminer la quantité d'énergie fournie par l'être humain afin de déterminer la part de l'énergie totale qui peut lui être attribuée.

6.5.1. Revue de littérature

Au sein de la communauté des chercheurs en ACV, la comptabilisation de l'énergie humaine a très peu été discutée. Le travail humain a notamment été abordé lors des discussions à propos des analyses sociales du cycle de vie, sous l'angle de la dignité humaine : nombre d'heures de travail quotidien, liberté de travail, travail des enfants, rémunération digne, etc. C'est notamment le cas des ACV sociales [Benoît and Mazijn 2009]. Dans sa thèse de doctorat, Frischknecht [1998, chapitre 6] parle du travail humain comme flux sortant, et considère les questions d'allocations qui y sont liées. Il rapporte les réflexions de Boustead et Hancock [1979], qui considèrent qu'une raison fondamentale et pragmatique pour la non comptabilisation de l'énergie humaine dans les processus industriels est l'ampleur de la contribution. En effet, selon leurs calculs basés sur la nourriture consommée et une allocation de 50% de celle-ci au travail humain, la contribution énergétique de l'énergie humaine aux systèmes hautement industrialisés est de moins de 0,1%. Ainsi, ils recommandent de négliger la part d'énergie humaine, excepté pour les systèmes consommant très peu d'énergie comme les activités agricoles dans les pays en développement, où le travail humain et animal peut être la seule source d'énergie [Boustead and Hancock 1979, p.181].

Une discussion animée a eu lieu en 2009 sur le forum de discussion sur l'ACV modéré par l'entreprise PréConsultants⁴ [Henshaw *et al.* 2009]. De nombreux auteurs ont participé à ce débat, dont Bin Lu, Doka, Henshaw et Muñoz par exemple. Bin Lu considère que dans certains pays comme la Chine, une grande partie du travail est faite manuellement alors que dans d'autres pays, cela est fait avec des machines. Ces différences ne doivent donc pas être négligées. Doka considère l'énergie humaine sous l'angle de la nourriture consommée. Il indique que dans la logique des ACV, seule l'énergie supplémentaire directement attribuable au travail en question doit être comptabilisée.

Concernant la forme d'énergie la plus efficace, les différents participants à ce débat ne sont pas d'accord entre eux. Certains estiment que le travail mécanique est plus efficace au niveau de l'énergie que le travail humain alors que d'autres estiment le contraire.

⁴ Il s'agit d'un forum de discussion par email, qui peut être consulté après inscription à l'adresse suivante : <http://pre.nl/content/lca-discussion-list>

Le débat continue ensuite sur le thème de l'allocation, notamment s'il faut allouer une partie de la nourriture consommée aux différentes activités de l'être humain, en fonction du temps dépensé pour chacune (travail, loisirs, repos,...). Ingwersen pense que si l'on considère l'énergie dépensée au travail, il faut aussi prendre en compte l'énergie nécessaire pour former les gens. En allant plus loin, la question est de savoir si on ne devrait pas également prendre en compte ce qui est nécessaire pour s'habiller, se loger, etc. Cet argument est réfuté par Doka qui indique que la formation profite à l'être humain durant toute sa vie et donc que la part à attribuer à un produit donné est faible.

Cet intéressant débat montre qu'il y a souvent, parmi les auteurs une confusion entre l'énergie humaine (soit l'énergie que l'être humain doit consommer pour réaliser un travail donné) et le travail humain (soit le travail fourni par une "machine" humaine). Les premiers voient l'énergie humaine non pas comme une énergie fournie par l'être humain, mais au travers de l'énergie alimentaire que l'être humain doit consommer pour un travail donné. Les seconds considèrent l'énergie humaine comme une énergie primaire, au même titre que l'énergie éolienne par exemple. Ce qui nous intéresse plus particulièrement dans ce travail est le travail humain en tant qu'énergie primaire.

Dans cet esprit, d'autres auteurs ont parlé d'esclaves-énergétiques (voir par exemple [Dürr 1999] et [Corbière-Nicollier *et al.* 2003]). Ils ont utilisé ce symbole, non pas pour estimer l'énergie humaine utilisée, mais pour évoquer de manière explicite ce que représente l'énergie fossile dépensée pour satisfaire nos modes de consommation. L'idée était de montrer synthétiquement combien de personnes devraient travailler "à notre service" pour que nous puissions vivre selon notre mode de vie actuel, si toute l'énergie consommée était de l'énergie humaine.

La définition est la suivante : Un esclave-énergétique travaille pour produire une puissance de 200W, 12 heures par jour sans pause, tous les jours de l'année. Il produit 875 kWh ou 3150MJ par année [Corbière-Nicollier *et al.* 2003]. Cette définition de l'esclave-énergétique se rapporte au cheval-vapeur, et vaut un peu plus d'un quart de cheval-vapeur.

Nous voyons qu'aucun consensus sur la comptabilisation de l'énergie humaine n'existe actuellement, ni sur la manière de comptabiliser cette énergie, ni sur l'information à en tirer. Les prochains paragraphes permettront ainsi d'apporter des éléments de réponse à cette question.

6.5.2. Energie alimentaire et énergie humaine

Ce que je nomme dans ce travail "énergie humaine" et que je souhaite comptabiliser est en fait l'énergie fournie par la force humaine. Cette énergie pourrait être qualifiée de primaire renouvelable.

Cependant, cette énergie humaine pourrait aussi être considérée sous trois formes que je vais expliciter pour éviter tout malentendu : l'énergie alimentaire *primaire*, *finale* et *utile*. En

effet, pour fournir du travail, l'homme doit se nourrir et transformer cette nourriture en énergie pour ses muscles. Ainsi, l'énergie alimentaire *primaire* est l'énergie contenue dans les aliments additionnée à l'énergie nécessaire à la production de nourriture et à sa préparation. L'énergie alimentaire *finale* est celle qui est extraite de ces aliments par le corps humain, et l'énergie alimentaire *utile* est l'énergie déployée par l'homme lors de son travail à proprement parler [Demont 2010]. C'est cette énergie alimentaire *utile* qui correspond à ce que nous appelons l'énergie humaine et que nous souhaitons quantifier.

Energie alimentaire primaire

Afin de bien comprendre les liens entre ces différents types d'énergie, je vais les décrire plus en détail ci-dessous.

Il y a clairement un lien entre l'énergie consommée par l'homme sous forme de nourriture et l'énergie que l'homme peut fournir sous forme de travail mécanique. Cependant, ce lien n'est pas linéaire et dépend de nombreux facteurs.

La nourriture consommée par l'être humain est utilisée par le corps humain en premier lieu pour se maintenir en vie et en second lieu pour fournir de l'énergie aux muscles pour qu'ils puissent travailler. De plus, l'entier de la nourriture consommée n'est pas transformé en énergie par le corps humain. Le surplus est simplement stocké sous forme de graisse dans le corps humain pour une utilisation ultérieure ou éliminé dans les excréments.

Dans le cadre d'un bilan énergétique, la part d'énergie qu'il convient de comptabiliser est uniquement l'énergie nécessaire pour travailler, puisque c'est l'énergie supplémentaire que nous pouvons attribuer au travail en question.

Je pose ainsi l'hypothèse qu'il est possible de séparer l'énergie ingérée par l'homme en trois parties distinctes : l'énergie nécessaire au métabolisme de base du corps humain, l'énergie nécessaire à son travail musculaire et le surplus d'énergie qui est stocké ou éliminé.

Les énergies alimentaires utile et primaire peuvent être décrites par les équations 6.1 et 6.2. Les équations 6.3, 6.4, 6.5 et 6.6 donnent le détail de différents rendements.

$$E_{alim_utile} = E_{nourriture} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \quad (\text{Equation 6. 1})$$

$$E_{alim_primaire} = (E_{nourriture} + E_{production} + E_{cuisson}) \cdot \eta_3 \quad (\text{Equation 6. 2})$$

$$\eta_1 = \text{Rendement métabolique} \\ = \text{Energie des ATP disponible pour les muscles} / E_{nourriture} \quad (\text{Equation 6. 3})$$

$$\eta_2 = \text{Rendement musculaire} \\ = \text{Energie déployée par les muscles} / \text{Energie que les muscles ont reçu sous forme d'ATP} \quad (\text{Equation 6. 4})$$

$$\eta_3 = \text{ratio de l}'E_{nourriture} \text{ attribuée au travail musculaire} \\ = 1 - E_{vie} / E_{nourriture} \quad (= \text{pour une utilisation de 100\% de la nourriture consommée}) \quad (\text{Equation 6. 5})$$

$$= (E_{nourriture} - E_{surplus} - E_{vie}) / E_{nourriture} \quad (\text{Equation 6. 6})$$

E_{alim_utile} = Energie mécanique fournie par la force humaine

$E_{\text{alim_primaire}}$ = Energie primaire nécessaire à fournir $E_{\text{alim_finale}}$
 $E_{\text{nourriture}}$ = Energie consommée = Energie contenue dans les aliments = valeur énergétique des aliments
 $E_{\text{production}}$ = Energie nécessaire à la production des aliments
 E_{cuisson} = Energie nécessaire à la cuisson et préparation des aliments
 E_{vie} = Energie vitale, nécessaire au corps pour vivre
 E_{surplus} = Part de la nourriture consommée qui n'est pas utilisée directement par le corps et est simplement stockée sous forme de graisse ou éliminée sous forme d'excréments.

Afin de bien comprendre ces équations, reprenons le fonctionnement du métabolisme humain lié à la consommation de nourriture et à la production d'énergie musculaire.

Le métabolisme humain est assez complexe. Nous pouvons distinguer trois grandes étapes pour la transformation des aliments en énergie mécanique.

Premièrement, le rendement métabolique est la phase de transformation des aliments en molécules utilisables par l'organisme. Seule l'énergie chimique stockée sous la forme d'adénosine triphosphate (ATP) est utilisable par l'organisme. Il faut donc transformer les aliments (lipides, glucides, protides) en ATP. De ce fait, une première perte d'énergie apparaît lors de la synthèse de ces molécules. Cette perte atteint les 40% et correspond à l'équation 6.3.

La deuxième étape est nommée rendement musculaire. Lorsque l'ATP est transformé en énergie mécanique, environ 50% de l'énergie est perdue sous forme de chaleur. Il ne reste donc que 30% de l'énergie de base avant transformation. Cela correspond à l'équation 6.4.

Enfin, la troisième étape consiste en la transformation de l'énergie musculaire en énergie mécanique. C'est ce qui est appelé le rendement mécanique. Ici encore, de l'énergie peut être perdue. Ces pertes dépendent du mouvement effectué.

En sachant que l'efficacité énergétique maximum est de 25% environ pour un cycliste [Martin 2001, p.45] (une des activités utilisant au mieux la musculature en terme de rendement), nous pouvons considérer une efficacité énergétique moyenne de 15% - 20% pour un travail standard [Demont 2010].

Il serait particulièrement intéressant d'arriver à déterminer la quantité d'énergie alimentaire primaire (cf. équation 6.2), c'est-à-dire la quantité d'énergie alimentaire consommée par l'être humain additionnée à l'énergie nécessaire pour la production des aliments et à l'énergie nécessaire pour leur préparation, le tout étant multiplié par le pourcentage de l'énergie consommée dédié au travail musculaire. Cependant, force est de reconnaître qu'il n'est pas possible de faire un lien direct entre l'énergie alimentaire consommée et la force physique qu'un homme est capable de fournir.

Tout d'abord, le ratio η_3 n'est pas déterminable facilement. La nourriture consommée est bien utilisée pour maintenir le corps en vie et pour déployer une force musculaire. Cependant, le surplus de nourriture consommée qui n'est pas utilisé par le corps est simplement stocké dans le corps humain ou rejeté sous forme d'excréments. Ces différents

éléments (E_{surplus} et E_{vie}) sont difficilement quantifiables, et eux-mêmes dépendants de nombreux facteurs, comme le type d'aliments (viande, légume, féculent) par exemple.

Comme nous le savons, la quantité d'énergie contenue dans les aliments ($E_{\text{nourriture}}$) est très différente d'un aliment à l'autre, et dépend notamment de la présence de sucres et de graisses. L'énergie nécessaire à la production des aliments est elle aussi très différente d'un aliment à l'autre et dépend énormément du mode de production et du type d'aliment, et donc des ressources qu'il faut consommer pour faire croître l'aliment. Ainsi l'énergie primaire nécessaire pour fournir 1 MJ d'énergie sous forme de nourriture ($E_{\text{nourriture}}$) à partir de viande ou de céréales est très différente. Par conséquent, la quantité d'énergie tirée de la nourriture qu'un homme doit consommer pour fournir une quantité donnée d'énergie alimentaire utile est largement dépendante de son mode d'alimentation. L'alimentation des familles paysannes ouest-africaines est principalement basée sur les céréales et les légumes. L'accès à de nouvelles sources de revenus pourrait modifier ce régime et leur permettre de consommer plus de viande ou de produits importés, pour des raisons de santé, de confort et éventuellement de luxe. Ainsi, pour la même énergie humaine produite, la consommation d'énergie alimentaire primaire pour se nourrir pourrait augmenter énormément.

Suite à toutes ces constatations, nous pouvons considérer que le lien entre l'énergie humaine, l'énergie alimentaire consommée, et celle nécessaire à la production des aliments est dépendant d'un nombre trop important de facteurs pour que leur comptabilisation à l'aide de valeurs génériques puisse être représentative de la réalité. C'est pourquoi, une comptabilisation de l'énergie humaine devrait comptabiliser l'énergie alimentaire utile, soit l'énergie mécanique fournie par l'être humain comme une énergie primaire en tant que telle.

6.5.3. Calcul de l'énergie humaine par type de travail

Calcul physiologique

L'être humain sédentaire a besoin d'environ 2'000 Calories par jour pour son métabolisme de base. Cela correspond à environ 2,3 kWh par jour⁵, soit 0,1 kWh par heure. Cela correspond à une puissance absorbée de 100 Watts pour le métabolisme de base.

Nous pouvons déterminer grossièrement l'énergie qu'est capable de fournir physiologiquement un être humain à partir de l'énergie supplémentaire consommée. En extrapolant les informations données par Jancovici [2005], nous établissons qu'un travail physique moyen permet de fournir 200 W. Un travail physique intense permet lui de fournir 500 W. Cependant, ce n'est pas tant le lien entre l'énergie consommée et celle fournie qui nous intéresse, mais bien plus le travail humain en tant que tel, à l'image de l'unité de puissance "cheval-vapeur".

⁵ 2'000 Cal * 4,18 kJ/Cal * 1 kWh/3600 kJ = 2.32 kWh

Calcul mécanique

Pour déterminer le travail humain ou l'énergie fournie par la force humaine, il est possible de faire un calcul basé sur la formule physique $E=mgh$, comme le fait Jancovici [2005] : *"Imaginons un manoeuvre qui creuse un grand trou, et va donc charrier des pelletées de terre toute la journée. Si notre homme remonte une pelletée de 3 kg toutes les 5 secondes, il aura remonté environ 17 tonnes en 8 heures de travail, et si cette remontée se fait sur 1 mètre de hauteur, $E = mgh$ permet de dire que l'énergie mécanique consommée pour ce faire vaut un peu moins de 180'000 joules, c'est-à-dire environ 0,05 kWh! [Cela correspond à une puissance de 6.25 W] Si notre homme a absorbé 5 kWh dans la journée pour soutenir ce régime de travail de force, nous voyons que le rendement purement mécanique de la machine humaine est de l'ordre de 1%.*

Le rendement des jambes, toutefois, est meilleur que celui des bras : si le même manoeuvre, pesant 70 kg, a grimpé 2000 mètres de dénivelé dans la montagne, avec 30 kg sur le dos, il aura fourni un travail de $(70+30) \times 2000 \times 9,81 = 2 \text{ MJ}$, soit 0,5 kWh en chiffres ronds [ce qui correspond à une puissance de 62.5 W]. Dans ce cas, le rendement passe à quasiment 10%."

Ainsi une évaluation grossière nous permet de déterminer que l'énergie humaine fournie sous forme de travail est liée à une puissance comprise entre 6 et 62 Watts. La puissance maximale fournie est bien entendu dépendante des muscles utilisés, mais également de la santé et de l'âge du travailleur, comme le précise Fraenkel [1986].

Nous pouvons donc prendre pour une première évaluation grossière les chiffres suivants :

Un travail physique modéré produit une puissance de 20 Watts.

Un travail physique intense produit une puissance de 50 Watts.

6.5.4. Résultats pour notre étude

Les travaux des champs ne demandent pas tous la même quantité d'énergie. Les travaux effectués pour la culture de biomasse sont : labourage, semence, repiquage (jatropha), effeuillage, désherbage et élimination des ravageurs, récolte. Le Tableau 6. 2 précise pour chacun de ces travaux, la difficulté, la durée et la quantité d'énergie que cela représente pour un hectare de biomasse plantée.

Tableau 6. 2 : Quantité d'énergie humaine nécessaire pour un hectare de biomasse.

Type de travail	Difficulté du travail	Durée du travail pour 1 ha de biomasse [heures]	Quantité d'énergie pour 1 ha de biomasse
Labourage	Difficile (50 W)	36	1.8 kWh = 6.48 MJ
Semis	Moyenne (20 W)	10	0.2 kWh = 0.72 MJ
Repiquage	Difficile (50 W)	40	2 kWh = 7.2 MJ
Désherbage et élimination des ravageurs	Moyenne (20 W)	50	1 kWh = 3.6 MJ
Récolte	Moyenne (20 W)	30	0.6 kWh = 2.16 MJ
Total pour un hectare			20.16 MJ

6.5.5. Limites

Il y a de nombreuses limites à la comptabilisation de l'énergie humaine. Le concept d'énergie humaine peut être perçu comme un concept vague. Certains considèrent que l'énergie humaine n'est pas une énergie primaire mais une énergie utile, car l'être humain doit lui-même consommer de la nourriture et donc de l'énergie pour produire du travail. Cependant, comme je l'ai expliqué précédemment, le lien entre l'énergie humaine fournie et la nourriture consommée n'est pas linéaire et dépendant de nombreux facteurs comme le mode d'alimentation par exemple, mais également le mode de vie ou la santé de la personne. De nombreuses recherches en médecine du sport et liées à la physiologie font état des différentes étapes entre la consommation de nourriture et l'énergie que peut fournir un sportif (par exemple un cycliste). Cependant, toutes partent de l'hypothèse que toute l'alimentation consommée est transformée en énergie par le corps humain.

Concernant le côté renouvelable de l'énergie humaine, le PNUD et la FAO la considèrent comme une énergie renouvelable de base, comme le bois de chauffe par exemple, qu'on utilise parce que l'on n'a pas accès à d'autres sources d'énergies [FAO 1997; Hicks 1997]. De plus, nous pouvons considérer l'énergie humaine comme une énergie renouvelable mais épuisable. En effet, une personne mal nourrie ou faible qui devra fournir une quantité d'énergie humaine supérieure à ce qu'elle peut physiologiquement extraire de la nourriture qu'elle a consommée va devoir puiser dans ses réserves. Si ses réserves en graisses sont faibles ou insuffisantes, sa santé va petit à petit se dégrader de manière irrémédiable. Comme nous le savons également dans nos pays industrialisés, l'espérance de vie d'un ouvrier ayant travaillé toute sa vie sur un chantier est bien plus basse que celle d'un cadre ayant travaillé toute sa vie dans un bureau [Cambois *et al.* 2008; Marquis 2010].

L'énergie humaine fournie est également dépendante de facteurs non liés à l'apport calorifique de la nourriture, comme la motivation, la santé ou l'équilibre nutritionnel. Je reconnais donc ici le caractère exploratoire de ces calculs. Cependant la prise en compte de l'énergie humaine dans un bilan environnemental est plus complexe que cela et nécessiterait des recherches bien plus approfondies en reliant le travail humain à sa valeur morale⁶.

Nous pouvons par ailleurs mentionner que l'énergie humaine est un concept qui touche non seulement le domaine environnemental, comme je viens de le montrer, mais également les domaines économiques et sociaux. En effet, en augmentant l'énergie humaine qu'il fournit, un travailleur diminue en partie son espérance de vie. D'un autre côté, si cette augmentation de travail lui permet un meilleur revenu, elle lui permettra d'avoir un meilleur accès aux soins, ce qui augmentera son espérance de vie.

⁶ Voir à ce sujet le livre suivant : [Coriat 1994]

6.6. Résumé des modifications proposées pour l'ACV

Ce paragraphe présente un résumé des adaptations proposées pour surmonter les limitations de l'analyse du cycle de vie dans le contexte des pays en développement, et plus spécifiquement pour évaluer le potentiel environnemental du remplacement d'énergie fossile par de la biomasse produite localement. Les parties 6.6.1 à 6.6.5 reprennent une à une les critiques faites à l'ACV et présentent synthétiquement les solutions proposées.

6.6.1. Définition du système

Les critiques à l'étape de définition des buts et du système concernent principalement la définition des limites du système et l'évaluation relative des impacts, comme le montre le Tableau 6. 3 (extrait du Tableau 6. 1) :

Tableau 6. 3 : Limitations de l'ACV pour l'étape de définition des objectifs et du système (extrait du Tableau 6. 1)

- **Problèmes et limitations techniques** : Difficulté à définir les limites du système car le système (potentiellement améliorable) est modifié par les scénarios.
- **Problèmes intrinsèques à l'outil** : Analyse relative et non pas absolue des impacts. Critique PVD : Une évaluation absolue des impacts pourrait être plus adaptée.

La solution proposée consiste à définir des limites du système et une unité fonctionnelle suffisamment larges pour inclure toutes les parties du système environnemental, mais aussi social et économique, qui pourraient être modifiées par le projet mis en place. Cette solution est bien entendu couverte par la définition de la norme ISO 14040 [ISO 2006a], mais nécessite une attention toute particulière dans les pays en développement, les différents éléments du système étant plus difficilement séparables les uns des autres.

6.6.2. Inventaire

Les critiques émises pour la phase de l'inventaire sont plus nombreuses. Le Tableau 6. 4 reprend la présentation faite au Tableau 6. 1 à ce sujet :

Tableau 6. 4 : Limitations de l'ACV à l'étape de l'inventaire (extrait du Tableau 6. 1)

- Problèmes et limitations techniques:**
- Données existantes peu adaptées au contexte (technologie, climat,...)
 - Beaucoup de données d'inventaire manquent.
 - Manque une catégorie d'inventaire : l'énergie humaine et animale
- Hypothèses implicites:**
- L'ACV considère qu'il y a de l'énergie mécanique à disposition de manière abondante, et que celle-ci va être utilisée de préférence à l'énergie humaine. Critique PVD : Ce n'est pas vrai dans les PVD, l'accès à l'énergie est un facteur limitant pour le développement.

- L'ACV considère que les technologies sont similaires pour un type d'inventaire où qu'on soit sur Terre, donc on peut faire la moyenne et utiliser des données génériques (sauf cas particuliers comme électricité, etc.). Critique PVD : Ce n'est pas vrai quand les méthodes sont artisanales.

Pour faire face au manque de données d'inventaire ou à l'inadaptation de données existantes, il n'y a à l'heure actuelle pas d'autre moyen que d'adapter les données existantes au contexte, comme le propose Notten [2009]. Ainsi, il convient de garder la structure établie pour des données similaires, mais d'adapter au contexte la composition des combustibles par exemple.

Lorsque l'adaptation des données demanderait trop de temps, il peut être plus avisé d'utiliser des données existantes similaires comme indication en spécifiant clairement leur éloignement de la réalité dans le tableau récapitulatif de qualité des données. Si lors de l'analyse des impacts, un impact important est à attribuer à une donnée de ce type, il convient de vérifier la présence ou non de l'émission concernée dans la réalité évaluée.

Concernant les hypothèses implicites identifiées, il convient de se rappeler lors de l'analyse que l'accès à l'énergie⁷ est un facteur limitant du développement dans les régions rurales d'Afrique de l'Ouest. C'est pourquoi, il sera nécessaire d'être attentif à cela lors de l'analyse des résultats d'utilisation d'énergie primaire afin de bien prendre en compte tous les enjeux, et pas seulement les enjeux environnementaux.

6.6.3. Energie humaine

La comptabilisation de l'énergie humaine est possible sur la base du nombre d'heures de travail nécessaire et de la difficulté physique pour chaque étape de travail. Le Tableau 6. 2 indique la quantité d'énergie humaine dépensée pour chaque type de travail identifié.

6.6.4. Impacts

Les problèmes rencontrés avec l'ACV à l'étape de l'analyse des impacts sont multiples. Le Tableau 6. 5 rappelle les limitations principales identifiées et pour lesquelles j'ai proposé des solutions.

⁷ Non seulement l'accès à l'énergie en tant que vecteur énergétique pose problème dans les zones rurales car elle est souvent physiquement absente de ces zones, mais les moyens et machines pour exploiter cette énergie manquent également.

Tableau 6. 5 : Limitations de l'ACV dans les PVD, étape d'analyse des impacts (extrait du Tableau 6. 1)**Problèmes et limitations techniques**

- Plusieurs catégories d'impact existantes ne sont pas représentatives de la réalité du contexte local (impacts locaux).
- Bilan des énergies renouvelables incomplet (manque l'énergie humaine).
- Manquent plusieurs catégories d'impact importantes liées à l'épuisement des ressources locales (énergie totale, eau, fertilité du sol,...).

Choix méthodologiques inadéquats dans le contexte des PVD :

- Choix de catégories d'impact qui correspondent aux impacts environnementaux relatifs aux pays industrialisés et parfois également à des objectifs politiques ou légaux.
- Choix de pondération des impacts, correspondant à des objectifs politiques, idéologiques, etc.

Plusieurs catégories d'impact existantes ont été identifiées comme n'étant pas représentatives du contexte local. D'autres ont été identifiées comme manquantes à l'analyse.

De manière générale, la stratégie utilisée a été d'évaluer qualitativement et semi-quantitativement les catégories existantes qui subissent une modification des impacts environnementaux avec l'introduction du projet, puis de déterminer d'autres catégories qu'il convient d'évaluer pour avoir une vision correcte de l'ensemble des impacts environnementaux. Cette évaluation semi-quantitative est suffisante au vu de la qualité des données d'inventaire que nous pouvons obtenir ainsi que pour proposer les améliorations nécessaires du projet.

6.6.5. Cadre socio-économique

J'ai également identifié une hypothèse implicite de l'ACV, liée à l'outil lui-même. Celle-ci est présentée au Tableau 6. 6.

Tableau 6. 6 : Limitations de l'ACV dans les PVD, hypothèses liées aux méthodes d'analyse des impacts (extrait du Tableau 6. 1)**Problèmes intrinsèques à l'outil / hypothèses implicites :**

- Hypothèse non formulée : L'étude est effectuée dans un pays industrialisé (sous-entendu : trop de pollution, nécessité ET possibilité de la réduire). Les impacts environnementaux sont un critère que l'on peut évaluer des manière isolée pour déterminer si un scénario est bon ou non.
Critique PVD : Ce n'est pas vrai quand le minimum vital n'est pas garanti. Risque de montrer que le développement est toujours négatif (pour l'environnement).
 - Incompatibilité temporelle: priorité de l'immédiat (survie) sur le long terme
 - Incompatibilité spatiale: priorité des impacts locaux sur les impacts globaux

L'analyse des différents éléments liés à cette hypothèse implicite m'a amenée à identifier la nécessité absolue d'inclure l'analyse environnementale dans une évaluation plus large du contexte et des objectifs socio-économiques.

Un travail spécifique de définition des objectifs et critères doit être effectué pour chaque projet. Ceux-ci doivent être validés par les différentes parties prenantes. Plusieurs travaux et documents peuvent servir de cadre et de référence pour cela : les ACV sociales, les principes de la Table Ronde sur la durabilité des biocarburants, la méthode Hermione.

Pour notre étude, plusieurs critères économiques et socio-économiques seront déterminés pour compléter l'analyse des impacts environnementaux.

6.7. Définition des critères pour une évaluation de la durabilité selon le nouveau cadre méthodologique

Suite aux propositions d'adaptation de l'ACV pour une utilisation dans les pays en développement, je vais maintenant utiliser le cadre méthodologique proposé pour définir une méthodologie d'évaluation de la durabilité du projet d'AshakaCem.

Je vais suivre les étapes dans l'ordre proposé. J'ai établi le processus et les critères ci-dessous. Ils ont ensuite été validés par les mandataires du projet d'AshakaCem, à savoir des membres du groupe Lafarge-Ecologie Industrielle.

Avant de déterminer des critères socio-économiques, il est nécessaire de faire une distinction importante sur la nature de ce qui est évalué. Lors d'une analyse environnementale, on évalue des impacts sur l'environnement. Une sélection des catégories d'impact les plus significatives est bien entendu faite⁸. Mais les chiffres obtenus correspondent à un fait objectif, mesurable et indépendant de l'observateur. Les résultats obtenus sont *a priori* des impacts négatifs sur l'environnement.

Une évaluation socio-économique s'effectue sur la base d'objectifs qui ont été fixés par avance et que l'on souhaite atteindre. Les résultats que l'on cherche à obtenir dans ce domaine correspondent au degré d'atteinte d'objectifs. Dans son dernier livre, le juriste Alain Supiot [2010] montre que de la même manière, la notion de justice sociale est basée sur des buts que nous nous fixons sur la base de notre morale ou éthique, et non sur des faits scientifiques établis. On ne peut ainsi pas ramener toutes les évaluations liées à l'homme à une quantification.

Pour ce qui concerne les impacts socio-économiques, la stratégie proposée consiste à définir un certain nombre de critères sociaux et économiques qui correspondent à des objectifs à atteindre. Pour les définir, nous allons identifier les besoins de l'entreprise et ceux de la population locale auquel le projet cherche à répondre. Sur cette base, des critères seront définis et des indicateurs chiffrés permettront de les évaluer. Pour une bonne vision des résultats et des critères sociaux et économiques atteints ou non, ils seront présentés sous forme d'un tableau récapitulatif, avec une échelle de "- -" à "++", indiquant si les objectifs

⁸ Voir les travaux du groupe de travail "Life Cycle Impact Assessment Programme" de la phase 1 de la Lifecycle Initiative, UNEP-SETAC : [UNEP/SETAC Lifecycle Initiative 2010]

sont atteints ou non. Ce que je propose pour l'évaluation des impacts environnementaux, c'est de définir des objectifs à atteindre pour l'environnement également, et d'établir de manière similaire une grille d'évaluation pour chaque indicateur, allant de "très défavorable" (- -) à "très favorable" (++).

Cela permettra de déterminer rapidement les efforts nécessaires pour réduire ces impacts ou si le projet doit être modifié pour éviter des impacts importants.

6.7.1. Etape 1 : Définition des besoins des parties prenantes et du cadre de l'analyse

Comme défini, la première étape consiste à rassembler un petit groupe d'évaluateurs⁹ composé de représentants des différentes parties prenantes¹⁰. Après avoir défini les limites du système, ce groupe d'experts identifie les besoins de chacun.

Concernant les besoins liés à l'environnement cependant, les besoins des différentes parties prenantes doivent être complétés par des critères additionnels. Ces critères correspondent à la nécessité, pour garantir la vie humaine à long terme, d'établir des garde-fous. Ainsi, les critères environnementaux à évaluer correspondront aux besoins des différentes parties prenantes du projet, mais comprendront également des critères propres aux problèmes environnementaux locaux existants ou potentiels, et sur lesquels le projet pourrait avoir une influence.

Identification des parties prenantes

Nous identifions facilement les parties prenantes principales du projet à mettre en place à Ashaka. Il s'agit de l'usine d'AshakaCem et de la population locale, tous deux bénéficiaires du projet.

D'autres acteurs interviennent également dans la définition du projet, de manière active ou passive. En premier, nous pouvons nommer l'entreprise Lafarge, car l'usine est directement liée au groupe auquel elle appartient et à qui elle doit rendre des comptes. C'est d'ailleurs sous l'impulsion du groupe Ecologie Industrielle de Lafarge que l'idée du projet est née et par lui qu'il est maintenant piloté. Ensuite, du côté de l'entreprise, nous pouvons également identifier comme parties prenantes passives les clients et actionnaires du groupe Lafarge, ainsi que la société civile mondiale et les défenseurs de l'environnement, à qui Lafarge souhaite communiquer une image positive de sa gestion du développement durable.

Du côté de la population locale, le partenaire principal est bien entendu les bénéficiaires directs, c'est-à-dire les paysans. Mais ces paysans sont soumis à une hiérarchie traditionnelle, des chefs de villages et une autorité qu'ils doivent respecter. Le gouvernement

⁹ un ou deux représentants par partie, ou au maximum quatre personnes, afin de rester efficace

¹⁰ Dans l'idéal, il faudrait que les représentants des deux parties soient compétents pour réaliser une ACV ou au moins qu'ils aient des connaissances sur les impacts environnementaux locaux et leurs causes. Si ce n'est pas le cas, il est nécessaire qu'une personne compétente représente les intérêts de chacune des parties prenantes afin de ne pas oublier des éléments importants.

local ou régional sont aussi des acteurs qui peuvent faire en sorte que le projet puisse être réalisé ou non.

Nous allons donc identifier ci-dessous les besoins des paysans et de la population locale dans un premier temps, puis ceux de l'entreprise, et enfin définir des besoins plus généraux de la société civile mondiale.

Détermination des besoins de la population locale

Pour la population locale et les paysans en particulier, il y a deux types de besoins : les besoins qui ont été clairement formulés par les paysans lors d'entretiens, et les besoins que nous pouvons considérer comme nécessaires pour que le projet soit un succès.

La population locale a exprimé lors des entretiens initiaux que son principal problème est le manque de fertilité des sols et que les fertilisants sont très chers dans cette région. De nombreux champs sont en jachère et la jachère dure de plus en plus longtemps. Les champs proches de la rivière bénéficient d'une irrigation, principalement pour la production de légumes. Les autres cultures sont dépendantes des aléas climatiques. Les agriculteurs connaissent bien leur terrain et utilisent quelques techniques naturelles pour améliorer la fertilité des sols, comme par exemple : utiliser du compost ou des déchets ménagers, laisser les animaux divaguer sur les champs (et y répandre leurs excréments qui servent de fertilisant) ou laisser les champs en jachère. Mais dans les conditions très difficiles de cette région, ces techniques sont tout juste suffisantes à maintenir une fertilité minimale.

L'autre élément que les agriculteurs ont mentionné est le fait de ne pas avoir pas de culture de rente ni d'accès à un marché pour vendre ces cultures de rente et donc de devoir vendre leurs céréales à des périodes où les prix ne sont pas favorables. Ainsi la nourriture vient à manquer en fin de saison. Il semble qu'il serait possible de produire plus de céréales (disponibilité de terrain et de force humaine), mais cela ne se fait pas. Est-ce parce que la terre disponible doit rester en jachère plus longtemps pour récupérer un peu de fertilité? Ce point n'a pas obtenu d'explication claire lors des entretiens. De nombreuses années auparavant, les paysans de la région produisaient du coton. Mais ils ont dû arrêter car le marché s'est tari. Il n'y a donc dans la région actuellement aucun accès à un marché pour les cultures de rente. Ce sont donc les cultures vivrières qui permettent de gagner de l'argent. Nous comprenons également à travers ces entretiens que les paysans manquent d'organisation entre eux pour commercialiser leurs cultures, les amener à un marché, etc. Il y a donc un besoin non formulé qui est d'établir une organisation, par exemple sous la forme d'associations de paysans, qui puisse servir de lieu d'échange d'expériences, de formation et de structure pour la valorisation économique de leurs produits agricoles.

Par ailleurs, un autre besoin exprimé par la population locale est celui d'avoir un travail. En effet, les gens considèrent que l'agriculture n'est pas un travail, car elle n'est pas rémunérée. L'agriculture leur permet simplement d'avoir de quoi manger. En conséquence, ils ne voient pas de raison pour investir dans une formation ou des connaissances leur permettant d'avoir

de meilleurs rendements agricoles. Mais dès le moment où cette activité agricole devient une activité rémunérée, elle devient un travail, et ainsi les efforts pour améliorer la fertilité des sols prennent tout leur sens.

En résumé, les besoins de la population locale et des agriculteurs sont:

- Le besoin d'avoir des terres plus fertiles. Les paysans pensent qu'ils doivent pour cela avoir accès à des fertilisants chimiques meilleur marché, mais ce n'est pratiquement pas possible compte tenu des réseaux d'approvisionnement régionaux et du nombre important d'intermédiaires entre l'Etat qui subventionne des fertilisants et les paysans. Pour faire face à ce manque de fertilité des sols, ils ont donc besoin de connaissances sur des techniques naturelles de fertilisation des sols adéquates pour la région.
- Le besoin de garantir l'autonomie alimentaire pour chaque famille de paysans.
- Le besoin d'avoir accès à une culture de rente et à un marché pour disposer d'argent au moment nécessaire.
- Le besoin de valoriser l'agriculture, de sorte qu'elle soit perçue comme une activité à valeur économique qui nécessite et mérite des connaissances pour être réalisée de manière efficiente.

Nous pouvons exprimer ces besoins sous la forme d'objectifs à atteindre :

- Objectif n°1 : Avoir accès à une formation professionnelle sur les techniques de lutte contre la perte de fertilité des sols et l'érosion.
- Objectif n°2 : Protéger les sols de l'érosion et améliorer la fertilité des sols.
- Objectif n°3 : Avoir une production vivrière suffisante pour chaque ferme pour garantir l'alimentation annuelle de la famille.
- Objectif n°4 : Avoir accès à un marché pour vendre les cultures de rente à un prix avantageux.
- Objectif n°5 : Donner une valeur économique à l'activité agricole pour donner un statut et une reconnaissance sociale aux paysans et par là même, améliorer la gestion de la fertilité du sol.
- Objectifs n°6 : Etre mieux organisés et formés au niveau associatif et pour la valorisation économique des produits agricoles.

Détermination des besoins de l'usine d'AshakaCem et de l'entreprise Lafarge

Les objectifs fixés par l'entreprise pour le projet de substitution d'une partie du carburant fossile par de la biomasse produite localement sont :

- Economiques: réduire les coûts de l'énergie
- Environnementaux: réduire les émissions globales de gaz carbonique
- Sociaux: mise en place d'une dynamique régionale de développement pour stabiliser la sécurité régionale.

La réduction et stabilisation des coûts de l'énergie est une condition sine qua non du projet. L'entreprise fixe les prix qu'elle paye pour la biomasse et les biocarburants, et vise en

premier lieu l'équilibre financier afin que cela soit rentable pour tout le monde. En effet, pour qu'une telle Symbiose Industrielle voie le jour, il faut que les différents partenaires s'y retrouvent financièrement. Mais il faut également que les rémunérations soient équitables et cohérentes avec les équilibres économiques régionaux. Une rémunération disproportionnée des paysans pourrait amener de nouveaux problèmes et déséquilibres qui ne sont pas souhaitables pour l'entreprise. En effet, cela pourrait créer une tension importante entre les paysans participant au projet et ceux n'y participant pas, résultant en une augmentation de la violence locale. De plus, si la rémunération de la biomasse était trop importante, cela augmenterait le risque que les paysans soient tentés d'abandonner leurs cultures vivrières au profit de la production de biomasse. En fixant le prix de la biomasse comme équivalent à celui des carburants fossiles, le gain calculé pour les paysans est intéressant, sans être extraordinaire. Cela respecte donc l'objectif. Sur la durée, l'entreprise pourrait peut-être souhaiter réduire le prix qu'elle paye pour la biomasse, mais il est évident que si cela n'est plus assez rentable pour les paysans, ils cesseront d'en produire. C'est donc un équilibre à trouver entre les partenaires.

Les objectifs environnementaux pour l'entreprise Lafarge sont globalement de réduire les émissions de CO₂ pour toutes ses usines. Mais comme je le mentionnais précédemment, ce sont des objectifs minimaux. En effet, pour qu'un tel projet puisse être justifié, il faut garantir qu'il n'ait pas d'autres impacts environnementaux négatifs importants pour la région. Ceci pourrait être une des conditions du gouvernement régional pour autoriser ou non la réalisation du projet. Ainsi, l'ACV présentée au chapitre 5 a été réalisée, ce qui a permis d'identifier des limitations de cet outil et de proposer des améliorations pour l'évaluation des impacts environnementaux. Cependant, une prise de recul par rapport aux résultats obtenus et à ceux qui seront obtenus suite à ces améliorations permet de réaliser que l'objectif principal de cette analyse n'est pas atteint. Il s'agissait de déterminer si environnementalement la production de biomasse à des fins énergétiques était justifiable dans une région où la sécurité alimentaire n'est pas garantie. En effet, dans un monde où la croissance démographique est devenue très rapide grâce aux progrès de la médecine notamment, il faut mettre en perspective la production agricole à but énergétique et une nécessaire augmentation de la production vivrière (locale) pour fournir à chaque être humain sa ration alimentaire. Il se trouve que dans le cas où il n'y a pas d'impacts environnementaux importants (positifs ou négatifs) résultants de cette production de biomasse, l'ACV seule n'est pas suffisante pour déterminer si la culture de biomasse à des fins énergétiques est souhaitable ou non. En effet, si la sécurité alimentaire n'est pas compromise par le fait d'importants impacts environnementaux, elle peut l'être pour une autre raison résultant également de l'introduction d'une culture de rente : la compétition des cultures de rente et vivrières pour l'utilisation du sol. Ceci pose bien entendu la question des limites (dimensions, durée,...) d'un tel projet. En ce sens, il reste un objectif à vérifier : que les cultures vivrières ne soient pas mises en péril par l'introduction de cette nouvelle culture de rente.

Au niveau des objectifs socio-économiques, l'entreprise souhaite garantir sa sécurité à long terme. Elle estime que pour y arriver, il faut que la population locale ait un niveau minimal de développement. Ayant constaté qu'il n'est pas possible de développer une population, mais que la population elle-même doit être actrice de son propre développement, AshakaCem entreprend de donner les moyens à cette population de se développer : elle offre la possibilité d'avoir accès à un "marché" pour l'écoulement de cultures de rente et pour que les agriculteurs puissent avoir de l'argent à investir dans les soins, l'école, etc. Ceci est bien, mais ce n'est pas suffisant car la population garde une dépendance directe à l'entreprise, qui reste alors le principal moyen d'avoir de l'argent. Pour aller plus loin, il est nécessaire que les paysans soient formés et connaissent de nouvelles techniques pour améliorer la fertilité des sols, ce qui leur donnera une autonomie et les moyens d'utiliser ces nouvelles techniques à d'autres fins. Il est donc nécessaire d'intégrer la population dans ce processus de développement régional, et que la population devienne suffisamment autonome et mature pour qu'un réel dialogue puisse être initié.

Il est nécessaire également que ces agriculteurs soient groupés en associations, pour que la communication avec l'usine soit possible. En effet, il n'est pas possible pour l'usine de communiquer avec des milliers de paysans individuels et d'organiser la production-récolte à cette échelle. Des relais sont nécessaires et les associations sont de bons moyens. Ainsi, l'objectif social de l'entreprise pourrait être divisé en deux :

- Donner accès aux agriculteurs à une formation sur les techniques naturelles d'amélioration de la fertilité des sols et de lutte contre l'érosion, mais également à des compétences pour la création d'association et pour la valorisation économique de leurs produits.
- Créer une structure fédérant les agriculteurs en associations pour entretenir des relations avec l'entreprise.

Un des éléments importants du projet est la création d'une relation de partenariat avec les paysans. Une alternative qui avait été envisagée prévoyait d'utiliser le concept de "Big Farm", c'est-à-dire une très grande ferme exploitée par un paysan qui emploie de nombreux ouvriers, ainsi que des techniques agricoles très différentes : monoculture et mécanisation.

Pour la population locale, il est très différent d'être partenaire ou d'être ouvrier. Un ouvrier doit faire ce qu'on lui dit de faire, il n'a pas de marge de manœuvre, pas de choix possible. On peut l'exploiter et le sous-payer car il n'a plus ses propres terres pour subvenir à ses besoins, et donc pas les moyens de se révolter. Au contraire, un partenaire peut choisir ce qu'il veut planter, comment il veut le faire, choisir la quantité qu'il veut vendre, etc. Il a donc beaucoup plus d'autonomie et de liberté d'action qu'un ouvrier.

L'objectif est donc de responsabiliser les paysans afin de leur donner les moyens de choisir et de maîtriser leur développement économique s'ils le veulent. Cet objectif va dans le sens des articles 23 et 25 de la Déclaration Universelle des Droits de l'Homme [Commission des droits de l'homme 1948].

En résumé, les besoins de l'entreprise/usine sont les suivants :

- Sécuriser l'accès à l'énergie
- Diminuer les coûts de l'énergie
- Améliorer son bilan environnemental, diminuer les émissions globales de CO₂
- Justifier la production énergétique par rapport à la production alimentaire d'un point de vue environnemental
- Garantir la sécurité régionale, éviter la violence avec la population locale
- Intégrer la population dans un processus de développement régional
- Que la population devienne autonome (mature), et un acteur avec qui le dialogue est possible

Nous pouvons traduire ces besoins sous la forme d'objectifs à atteindre :

- Mettre en place une production d'énergie locale
- Réduire les coûts de l'énergie
- Réduire la consommation d'énergie fossile
- Réduire les émissions globales de gaz carbonique
- Identifier les problèmes environnementaux locaux potentiels et les éviter ou les diminuer
- Mettre en place d'une dynamique régionale de développement pour stabiliser la sécurité régionale.
- Former les paysans aux techniques agricoles d'amélioration de la fertilité des sols, à la création d'associations et à la valorisation des produits
- Structurer les paysans en associations pour qu'ils puissent être de bons interlocuteurs économiques

Besoins des parties prenantes non directement bénéficiaires du projet : défenseurs de l'environnement et des droits de l'homme, agences de développement...

Les sources d'énergie locales et/ou bon marché sont inexistantes et les perspectives de développement d'activités à plus haute valeur ajoutée sont donc maigres. De plus, comme je l'ai dit ci-dessus, le fait d'utiliser le sol pour produire de l'énergie et non de la nourriture dans une région où la sécurité alimentaire pose problème est éthiquement difficilement justifiable dans un contexte mondial où le sol nourricier est presque sacralisé. Cependant, nous pouvons considérer que cela est acceptable, à condition que cette énergie soit utilisée localement pour établir de nouvelles activités économiques, et que les modes de production agricole permettent d'améliorer les rendements alimentaires sans continuer à épuiser le sol.

Ainsi, du point de vue des agences de développement potentielles ou des défenseurs de l'environnement, un objectif à moyen terme serait qu'une partie de l'énergie produite puisse être utilisée par la population locale, par exemple sous la forme d'électricité, en vue d'avoir des activités à plus haute valeur ajoutée. Cependant, cet objectif n'est revendiqué ni par la population locale, ni par l'entreprise. Il ne fera donc pas partie du projet mis en place, et donc pas évalué.

Au niveau des catégories d'impact environnementales locales à définir, celles-ci ont déjà été mentionnées précédemment. Il s'agit principalement en effet de garantir que le projet mis en place n'aura pas d'impact négatif à court ou long terme sur la santé humaine des habitants de la région, sur la biodiversité ainsi que sur les ressources en eau.

6.7.2. Etape 2 : Définition des critères d'évaluation du projet

En regroupant les besoins des parties prenantes, nous identifions quatorze objectifs que le projet de Symbiose Industrielle devrait atteindre et qui deviennent ainsi des critères d'évaluation. Nous pouvons distinguer les critères prioritaires des critères secondaires.

Les critères prioritaires sont déterminants pour la réalisation ou non du projet. Ce sont des critères *sine-qua-non*. Leur résultat doit être positif pour que le projet puisse être réalisé.

Les critères secondaires sont également importants, mais ne sont pas déterminants pour la réalisation du projet. Les parties prenantes souhaitent donc qu'ils aient un résultat positif, mais ce n'est pas limitant pour la réalisation du projet.

Tableau 6. 7 : Critères pour l'évaluation économique pour tous les acteurs confondus

Critères prioritaires	<p>Critère E1 : Prix de l'énergie L'énergie issue de la biomasse produite localement doit être meilleur marché que l'énergie fossile utilisée par l'entreprise.</p> <p>Critère E2 : Marché Un marché doit être créé pour que les agriculteurs puissent vendre leurs cultures de rente à un prix avantageux.</p>
Critères secondaires	<p>Critère E3 : Proportionnalité de la rémunération L'apport financier nouveau pour une partie des agriculteurs ne doit pas être disproportionné par rapport aux flux financiers locaux, afin d'éviter de créer de nouvelles disparités sociales (et donc de potentiels conflits) trop importantes.</p> <p>Critère E4 : Valoriser les activités agricoles Une valeur économique doit être donnée à l'activité agricole pour améliorer la gestion de la fertilité du sol.</p>

Tableau 6. 8 : Critères pour l'évaluation socio-économique

Critères prioritaires	<p>Critère S1 : Formation technique Les agriculteurs doivent avoir accès à une formation professionnelle sur les techniques de lutte contre la perte de fertilité des sols et contre l'érosion, ainsi que sur les techniques adaptées aux nouvelles plantes.</p> <p>Critère S2 : Respect de l'organisation sociale locale L'organisation sociale et économique locale doit être respectée pour que les paysans puissent avoir les moyens de maîtriser leur développement économique.</p> <p>Critère S3 : Sécurité alimentaire La production vivrière de chaque ferme doit être suffisante pour garantir l'alimentation annuelle de la famille, et les cultures vivrières ne doivent pas être mises en péril par l'introduction de cette nouvelle culture de rente. En d'autres termes, en plus de l'introduction d'une culture de rente énergétique, il faut favoriser les cultures permettant de garantir la sécurité alimentaire.</p> <p>Critère S4 : Associations d'agriculteurs Une structure fédérant les agriculteurs en associations doit être mise en place (ou les structures existantes utilisées) pour entretenir des relations avec l'entreprise. Une telle structure pourrait être la base d'un auto-développement.</p>
-----------------------	--

Tableau 6. 9 : Critères pour l'évaluation environnementale

Critères prioritaires	<p>Critère Env1 : Emissions de CO₂ globales / GES Les émissions de gaz à effet de serre globales doivent être réduites.</p> <p>Critère Env2 : Bilan énergétique total La quantité totale d'énergie primaire doit être réduite, en particulier la part d'énergie fossile.</p> <p>Critère Env3 : Fertilité des sols La fertilité des sols doit être préservée et l'érosion limitée.</p>
Critères secondaires	<p>Critère Env4 : Ressources en eau Les ressources en eau doivent être préservées.</p> <p>Critère Env5 : Santé humaine La santé humaine doit être protégée.</p> <p>Critère Env6 : Biodiversité La biodiversité doit être maintenue, voire améliorée.</p>

Comprendre les relations entre ces critères et les enjeux auxquels ils sont liés nous permettra de répondre à la question de savoir si la production d'une culture de biomasse à des fins énergétiques dans une région où la sécurité alimentaire n'est pas garantie est justifiable et/ou souhaitable d'un point de vue global, et selon quelles conditions.

Dans le cas de notre étude, nous pouvons considérer que l'apport positif de la formation obtenue est suffisamment important et offre une valeur ajoutée convenable à la région pour que les aspects négatifs d'une production énergétique soient acceptables. Mais deux conditions préalables sont que la production alimentaire locale ne diminue pas et que le bilan environnemental local et global soit positif, en particulier en ce qui concerne la fertilité du sol, la lutte contre l'érosion et la biodisponibilité de l'eau, comme j'en ai parlé précédemment.

6.7.3. Etape 3 et 4 : Définition des indicateurs pour chaque critère et de leur grille d'évaluation

En l'état actuel des choses, le projet de Symbiose Industrielle va être et est déjà partiellement réalisé, indépendamment des résultats de l'analyse de la durabilité présente. En effet, le projet tel que conçu permet de répondre aux objectifs que l'entreprise s'est fixés. Cependant, tout n'est pas défini avec précision et des modifications sont encore possibles. La connaissance de certains impacts socio-économiques pourrait permettre de modifier les paramètres nécessaires et le projet en conséquence.

Sur la base de mon cadre méthodologique, les objectifs établis à l'étape 1 et 2 doivent être précisés et un moyen de quantifier chacun d'eux doit être déterminé.

Ainsi, nous souhaitons évaluer la distance par rapport à l'atteinte des objectifs. Pour diminuer les biais que nous pourrions attribuer à la position de l'évaluateur, le mieux est de préciser des indicateurs chiffrés lorsque c'est possible.

Comme je l'ai mentionné précédemment, une des règles d'or pour l'évaluation de la durabilité est que la définition de critères et leur évaluation doivent être faits par plusieurs partenaires représentant les différents enjeux. Ceci peut également être réalisé par un mandataire externe et neutre, capable de représenter équitablement les différentes parties prenantes, à condition que cela soit ensuite validé par celles-ci. Le choix de ces critères et leur évaluation ont donc fait l'objet d'une validation par les initiateurs du projet, à savoir Lafarge.

De plus, l'évaluation des critères et indicateurs définis ne peut être faite que par une personne ayant une connaissance précise des résultats du projet, qui est en lien avec des paysans ou associations de paysans qui pourront lui donner les informations requises.

La finalité d'une telle évaluation est l'aide à la définition du projet et son amélioration.

Je vais maintenant décrire plus en détail chacun des critères et indicateurs et expliquer brièvement les enjeux lorsque cela est nécessaire.

Critère E1 : Prix de l'énergie

L'énergie issue de la biomasse produite localement doit être meilleur marché que l'énergie fossile utilisée par l'entreprise.

But de ce critère	Faire en sorte de ne pas augmenter la charge financière de l'entreprise liée à l'énergie. En effet, cette charge étant déjà très importante, le projet n'aura pas lieu si ce critère n'est pas respecté.
Indicateur E1	$E1 = P_{\text{fossile}} - P_{\text{biomasse}}$ P_{fossile} = prix payé par GJ d'énergie fossile (rendu brûleur) P_{biomasse} = prix payé par GJ issu de la biomasse (rendu brûleur)
Détail indicateur E1	<p>Le prix payé par GJ d'énergie fossile en rendu brûleur est le prix payé par GJ de LPFO (valeur moyenne annuelle) additionné du prix payé pour le diesel nécessaire au préchauffage du LPFO.</p> $P_{\text{fossile}} = P_{\text{GJ LPFO}} + P_{\text{diesel préchauffage}}$ <p>Le prix de la biomasse en rendu brûleur inclut le coût de la biomasse, ainsi que tout ce qui est nécessaire pour qu'elle puisse être utilisée. <i>A priori</i> la biomasse se paye au kg et non pas au GJ, c'est pourquoi son prix dépend de sa valeur énergétique (PCI) et de son inflammabilité. De plus, un petit traitement (broyage fin) est nécessaire sur le lieu de l'usine, ainsi qu'une adaptation des infrastructures et l'acquisition de nouvelles infrastructures. Il faut encore ajouter à cela les coûts de développement du projet ainsi que les coûts des salaires supplémentaires.</p> $\text{Ainsi } P_{\text{biomasse}} = P_{\text{paysans}} + P_{\text{broyage}} + P_{\text{salaires}} + P_{\text{infras}} / x + P_{\text{dev}} / x$ <p> P_{paysans} = prix payé aux paysans par GJ de biomasse = prix par t * PCI en GJ/t P_{broyage} = prix du broyage par GJ de biomasse P_{salaires} = salaires payés pour la production d'un GJ de biomasse P_{infras} = prix de la modification et de l'acquisition de nouvelles infrastructures P_{dev} = coûts de développement du projet x = nombres d'années d'utilisation des infrastructures modifiées (p.ex. 15 ans) </p>
Echelle de valeurs	$E1 > 0$ favorable $E1 = 0$ neutre $E1 < 0$ défavorable

Le critère E1 doit respecter les critères financiers de l'entreprise. En particulier, il doit y avoir un gain financier pour que le projet se réalise. L'objectif général de Lafarge pour la substitution énergétique est d'atteindre une réduction du coût énergétique de 2€ par GJ d'énergie. Notons par ailleurs que si un MDP devait être mis en place, ses coûts de réalisation devraient être ajoutés aux coûts pour la biomasse.

Critère E2 : Marché

Un marché doit être créé pour que les agriculteurs puissent vendre leurs cultures de rente à un prix avantageux.

But de ce critère	Le but de ce critère est double. Premièrement il s'agit pour les paysans de pouvoir vendre leurs productions et deuxièmement, de pouvoir prendre part à la discussion sur le prix afin d'obtenir un montant qui leur convient.
Indicateurs	E2a : Est-ce que les paysans ont accès à un lieu de vente (=marché) de leurs produits? E2b : Est-ce que les paysans peuvent prendre part à la discussion sur les prix auxquels ils vendent leurs produits?
Echelle de valeurs	Pour les deux indicateurs : Oui = favorable Non = défavorable

Critère E3 : Proportionnalité de la rémunération

L'apport financier nouveau pour une partie des agriculteurs ne doit pas être disproportionné par rapport aux flux financiers locaux, afin d'éviter de créer de nouvelles disparités sociales (et donc de potentiels conflits) trop importantes.

But de ce critère	Eviter de créer des tensions sociales régionales entre participants ou non au projet, sachant que le terrain est déjà très propice aux tensions de toutes sortes.
Indicateur	E3 = $R_{\text{biomasse}} / R_{\text{standard}}$ R_{biomasse} = Revenu annuel moyen que peut obtenir un agriculteur par la vente de biomasse produite par la ferme à l'entreprise R_{standard} = Revenu annuel moyen d'un agriculteur de la région OU revenu annuel minimal de 1\$ par jour et par personne de la ferme (= famille + ouvriers)
Echelle de valeurs	E3 plus grand que 4 = Défavorable E3 entre 4 et 1 = Favorable E3 inférieur à 1 = Défavorable
Remarques	Cette échelle de valeurs est indicative et doit être déterminée empiriquement selon le contexte. Elle est à fixer de sorte que la différence entre les revenus soit suffisamment faible pour ne pas créer de tensions nouvelles, mais que le prix reste intéressant pour les paysans.

Critère E4 : Valoriser les activités agricoles

Une valeur économique doit être donnée à l'activité agricole pour améliorer la gestion de la fertilité du sol.

But de ce critère	Faire en sorte que les agriculteurs considèrent l'agriculture comme une activité économique, avec comme conséquence une motivation à appliquer les techniques agricoles apprises. En effet, jusqu'à maintenant, les paysans se considérant sans emploi et ne considérant pas l'agriculture comme une activité lucrative, ils ne cherchent pas à obtenir ni à utiliser des techniques agricoles pour s'améliorer.
Indicateur	E4 = Pourcentage des paysans de la région qui font partie du projet (c'est-à-dire qui ont un contrat avec AshakaCem)
Echelle de valeurs	>60% = très favorable 40-60% = favorable 30-40 % = défavorable <30% = très défavorable
Remarques	Cette échelle de valeurs est indicative et doit être déterminée empiriquement selon le contexte.

Critère S1 : Formation technique

Les agriculteurs doivent avoir accès à une formation professionnelle sur les techniques de lutte contre la perte de fertilité des sols et contre l'érosion, ainsi que les techniques adaptées aux nouvelles plantes.

Les paysans ont déjà de grandes connaissances de leur terrain et des techniques usuelles pour conserver la fertilité du sol au minimum : utilisation de compost, utilisation des excréments des animaux, jachère. Cependant, les conditions climatiques et du sol sont extrêmes et nécessitent des techniques avancées pour lutter contre l'érosion et améliorer la fertilité. Les techniques telles que les haies, la culture intercalaire ou le semis sous couvert végétal seront d'une grande aide dans ce sens.

But de ce critère	Il s'agit de s'assurer par ce critère que les agriculteurs acquièrent des connaissances sur les techniques agricoles dont ils ont besoin pour exploiter durablement leurs terres. Pour les agriculteurs, il s'agit de s'affranchir de la dépendance d'intrants extérieurs. Pour l'entreprise, il s'agit d'une garantie que les paysans seront en mesure de produire de la biomasse localement à long terme, et leur donner accès à des connaissances sera potentiellement source d'autonomisation.
Indicateurs	S1a = Pourcentage des agriculteurs liés contractuellement à l'entreprise qui ont accès à un cours pendant les deux premières années de leur contrat. S1b = Pourcentage des agriculteurs dont les rendements à l'hectare ont en moyenne augmenté au cours des 5 dernières années. Cela donne une indication sur la qualité du cours et du suivi des agriculteurs.
Echelle de valeurs	S1a et S1b : 90% et + = très favorable 80%-90% = favorable <75% = défavorable
Remarques	Cette échelle de valeurs est indicative et doit être déterminée empiriquement selon le contexte.

Critère S 2: Respect de l'organisation sociale locale

L'organisation sociale et économique locale doit être respectée pour que les paysans aient les moyens de maîtriser leur développement économique. En effet, pour que l'entreprise ait une relation pacifiée avec la population locale, il est nécessaire que cette dernière soit indépendante et ait les moyens de maîtriser son développement.

But de ce critère	Assurer que les agriculteurs ont les moyens de choisir les plantes qu'ils cultivent et les techniques qu'ils utilisent, la quantité qu'ils veulent vendre etc., afin qu'ils soient en mesure de déterminer eux-mêmes l'apport de la culture de rente à leur autonomie et leur développement économique. Pour ce faire, il est nécessaire que le projet mis en place respecte l'organisation sociale et économique locale et s'appuie sur elle pour se développer.
Indicateur	S2 = Type de modèle économique choisi
Echelle de valeurs	Modèle basé sur la liberté de choix des paysans = favorable Modèle basé sur la rentabilité économique maximale et l'emploi d'ouvriers agricoles = défavorable
Remarques	Les initiateurs du projet cherchent ici à éviter l'application d'un modèle économique efficient dans les pays industrialisés, mais qui n'est pas adapté au contexte socio-économique ni à la qualité des sols de cette région.

Critère S3 : Sécurité alimentaire

La production vivrière de chaque ferme doit être suffisante pour garantir l'alimentation annuelle de la famille et ne doit pas être mise en péril par l'introduction de cette nouvelle culture de rente. En d'autres termes, en plus de l'introduction d'une culture de rente énergétique, il faut favoriser les cultures permettant de garantir la sécurité alimentaire.

But de ce critère	Le but de ce critère est que chaque ferme continue d'être en mesure de produire les céréales dont elle a besoin pour son alimentation.
Indicateurs	S3a : Pourcentage de l'alimentation des paysans (céréales et légumineuses) qui est produite et consommée dans la ferme S3b : Evolution de ce pourcentage sur 5 ans et 10 ans.
Echelle de valeurs	S3a : 90-100% = très favorable 75-90% = favorable 60-75% = défavorable <60% = très défavorable S3b : Augmentation = favorable Diminution = défavorable Stagnation = favorable ou défavorable suivant le % (cf. S3a)
Remarques	L'échelle de valeurs pour S3a est indicative et doit être déterminée empiriquement selon le contexte. L'indicateur S3a peut varier beaucoup d'un village à l'autre pour des raisons indépendantes du projet. Sa connaissance est surtout nécessaire pour identifier s'il y a une augmentation ou une diminution à long terme. C'est l'indicateur S3b qui donne l'évaluation de ce critère.

Critère S4 : Associations d'agriculteurs

Une structure fédérant les agriculteurs en associations doit être mise en place (ou les structures existantes utilisées) pour entretenir des relations avec l'entreprise. Une telle structure pourrait être la base pour un auto-développement.

But de ce critère	Il s'agit de garantir que l'entreprise puisse compter sur des associations (et non pas des individus) comme interlocuteurs, et en même temps donner un lieu aux agriculteurs pour avoir un échange d'expérience stimulant. La structure de l'association et les statuts peuvent être importants pour garantir son efficacité.
Indicateurs	S4a : De combien de paysans en moyenne sont composées les associations de paysans ? S4b : Est-ce que les statuts sont efficaces? Par exemple, combien de réunions de l'association sont prévues par année?
Echelle de valeurs	S4a : 45-60 = très favorable 30-45 = favorable <30 = défavorable S4b : >10 = très favorable 6-10 = favorable <6 = défavorable
Remarques	Ces échelles de valeurs sont indicatives et doivent être adaptées suite à une première évaluation.

Notons que Lafarge a fixé des standards que les associations de paysans doivent respecter pour pouvoir traiter avec l'entreprise. Ces standards concernent les trois piliers du développement durable :

- Développement social : les associations doivent démontrer qu'elles sont démocratiques et participatives, transparentes et non-discriminatoires.
- Développement économique : les associations doivent démontrer qu'elles peuvent gérer le revenu qu'elles reçoivent, que celui-ci est distribué correctement aux paysans et qu'ils sont capables de gérer un budget.
- Développement environnemental : les associations doivent démontrer qu'elles contrôlent leurs impacts environnementaux et qu'elles font un usage maîtrisé d'agents chimiques, d'eau, etc.

Ainsi, l'entreprise n'accepte de traiter qu'avec les associations de paysans qui ont au moins 30 membres et dont les statuts règlent les points mentionnés ci-dessus. Dans ces statuts, elle regarde en particulier que le nombre de réunions soit planifié, que les responsabilités soient définies et que l'argent reçu soit redistribué correctement, en fonction de la quantité de produit livrée par chaque membre.

Critère Env1 : Emissions de CO₂ globales / GES

Le but pour l'entreprise est de réduire les émissions de CO₂ globales pour combattre le réchauffement climatique. Le but est également de vérifier que le projet pourra permettre d'obtenir des crédits carbone à travers le mécanisme de développement propre (MDP) du protocole de Kyoto.

But de ce critère	Répondre à une pression internationale et être exemplaire. Obtenir un crédit carbone.
Indicateur	<p>Env1 : Pourcentage de réduction des émissions de gaz à effet de serre totales (incluant les émissions et consommations de GES biogéniques et fossiles), pour la part de carburant remplacée.</p> <p>Formulé autrement, sous forme d'équation, cet indicateur s'exprime ainsi :</p> $\text{Env1} = 1 - \frac{\text{CO2}_{\text{biomasse}}}{\text{CO2}_{\text{LPFO}}}$ <p>$\text{CO2}_{\text{biomasse}}$ = Bilan CO₂ equ du scénario de production et utilisation de biomasse CO2_{LPFO} = Bilan CO₂ equ du scénario de production et utilisation de LPFO</p>
Echelle de valeurs	<p>Env1 :</p> <p>Réduction > 50% : très favorable</p> <p>Réduction entre 20% et 50% : favorable</p> <p>Réduction entre 0 et 20% : neutre</p> <p>Pas de réduction : très défavorable</p>
Remarque	Cette échelle de valeurs est indicative et doit être déterminée pour correspondre aux engagements internationaux de Lafarge et de l'Europe au protocole de Kyoto.

Notons que la manière de calculer le bilan CO₂ est différente si l'on suit les conventions fixées par les cimentiers (à travers la CSI) ou si l'on suit la logique de l'ACV.

En effet, les cimentiers de la CSI ont par exemple fixé une convention, qui correspond aux modes de calculs préconisés par le protocole de Kyoto. Ils considèrent ainsi que l'utilisation de biomasse correspond à un bilan CO₂ nul.

Du point de vue de l'ACV, ceci n'est bien entendu pas correct car il faut des intrants pour faire pousser la biomasse, il faut la transporter et la transformer. Tout ceci consomme de l'énergie qui produit du CO₂. Les limites du système des deux modes de calcul sont donc différentes. La vision de la CSI n'est pas basée sur une notion de cycle de vie.

Pour cet indicateur et tous les indicateurs des critères environnementaux suivants, le calcul sera réalisé sur la base d'une Analyse du Cycle de Vie. Cet indicateur Env1 consiste donc à comparer les résultats des deux scénarios. La grille d'évaluation fixe une valeur, un objectif à atteindre. Cela rend le résultat de l'ACV moins abstrait. Nous avons donc une évaluation relative et non absolue.

Critère Env2 : Bilan énergétique

Le projet doit avoir un bilan énergétique neutre ou positif. Le but est bien entendu de combattre l'épuisement des ressources non renouvelables et renouvelables, mais il s'agit aussi pour l'entreprise de réduire sa dépendance aux énergies fossiles.

But de ce critère	Répondre à une pression internationale et être exemplaire.
Indicateurs	<p>Env2a : Pourcentage de réduction de la consommation d'énergie primaire totale, renouvelable et non renouvelable, en incluant l'énergie humaine consommée, pour la part de carburant remplacée.</p> $\text{Env2a} = 1 - \frac{\text{Etot}_{\text{biomasse}}}{\text{Etot}_{\text{LPFO}}}$ <p>$\text{Etot}_{\text{biomasse}}$ = Energie primaire totale (renouvelable et non ren.) pour le scénario biomasse $\text{Etot}_{\text{LPFO}}$ = Energie primaire totale (renouvelable et non renouvelable) pour le scénario LPFO</p> <p>Env2b : Si Env2a montre une augmentation (>1), pourcentage de cette augmentation qui est de l'énergie renouvelable gérée de manière durable.</p>
Echelle de valeurs	<p>Env2a :</p> <p>Si Env2a > 0.2 (signifie une réduction > 20%) : très favorable Si Env2a entre 0 et 0.2 (signifie une réduction entre 0 et 20%) : favorable Si Env2a < 0 (signifie une augmentation de l'énergie consommée) : très défavorable</p> <p>Env2b :</p> <p>Si 100% de l'augmentation est de l'énergie renouvelable gérée durablement : très favorable Sinon : très défavorable</p>
Remarques	<p>L'échelle de valeurs du critère Env2a est indicative et doit être adaptée pour correspondre aux besoins du projet.</p> <p>L'indicateur Env2b permet de relativiser l'importance de l'énergie renouvelable utilisée.</p>

Il faut par ailleurs noter qu'il y a dans l'énergie consommée une part incompressible : l'énergie finale nécessaire pour chauffer la matière. Ainsi, même pour un vecteur énergétique efficace à 100% et ne demandant pas de préparation, il n'est pas possible de descendre au dessous de cette valeur.

Critère Env3 : Fertilité des sols

Pour que le projet soit durable et profitable pour les paysans dans cette région où les sols sont déjà bien dégradés, il est nécessaire de combattre l'épuisement des sols et de garantir la production à long terme. Il faut donc s'assurer que la fertilité des sols est conservée ou augmentée.

But de ce critère	Faire en sorte que le projet soit durable et préserve les ressources existantes. Répondre à une pression internationale et être exemplaire.
Indicateur	Env3 : Evolution (augmentation ou diminution) sur 5 ans de la production céréalière à l'hectare.
Echelle de valeurs	Augmentation supérieure à 20% : Env3 très favorable Augmentation entre 0 et 20% : Env3 favorable Diminution entre 0 et 20% : Env3 défavorable Diminution supérieure à 20% : Env3 très défavorable
Remarques	<ul style="list-style-type: none"> • Calibrage initial nécessaire • Ce pourcentage doit tenir compte de la marge d'erreur et de la variation climatique annuelle normale.

Critère Env4 : Préservation des ressources en eau

Les ressources en eau sont rares dans cette région. Il est donc nécessaire d'éviter de les épuiser par l'introduction de ce nouveau projet. Le but est donc de combattre l'épuisement des ressources en eau et garantir la production énergétique à long terme.

But de ce critère	Faire en sorte de ne pas surexploiter les ressources hydriques régionales peu fournies. Répondre à une pression internationale et être exemplaire.
Indicateur	$Env4 = Q_{irrig}/Q_{tot}$ Q_{irrig} = Quantité d'eau consommée pour l'irrigation et la croissance de la biomasse par hectare et par année en m ³ Q_{tot} = Quantité d'eau totale disponible par hectare et par année (quantité d'eau de pluie qui tombe sur la surface – quantité d'eau qui s'évapore naturellement)
Echelle de valeurs	$Env4 < 0.02$ = très favorable $0.02 < Env4 < 0.05$ = favorable $0.05 < Env4 < 0.1$ = défavorable $Env4 > 0.1$ = très défavorable
Remarques	Ce critère peut être adapté si un dispositif de récolte et de conservation de l'eau de pluie est mis en place, si une formation à ce type de dispositifs est donnée aux paysans, etc. Un tel dispositif améliore la disponibilité de l'eau et diminue l'érosion.

Notons par ailleurs que l'usine possède des forages pour pomper l'eau souterraine, qu'elle utilise pour refroidir ses fours et distribue à quelques villages avoisinants. Plusieurs forages se sont déjà taris et cette eau n'est pas rationnée ni récupérée d'une quelconque manière. Ainsi, en dehors du projet lui-même, l'entreprise a un grand effort de réduction possible à ce niveau-là.

Critère Env5 : Santé humaine

Il est nécessaire que le projet mis en place n'ait pas d'effet négatif sur la santé humaine. Il faut donc éviter que la production énergétique ait un impact négatif sur la santé humaine des populations locales.

But de ce critère	L'espérance de vie de la population locale n'est pas très élevée en raison de divers facteurs indépendants du projet mis en place. Il faut éviter d'ajouter de nouveaux facteurs de risque pour la population, c'est-à-dire éviter de produire des émissions dangereuses pour la santé humaine. Répondre à une pression internationale et être exemplaire.
Indicateurs	Env5a = Emission d'une substance potentiellement nocive pour la santé humaine pour la réalisation du projet Env5b = Effet de la substance en question sur la santé humaine Env5c = Stratégie mise en place pour éviter cette émission ou la réduire
Echelle de valeurs	Env5a : <ul style="list-style-type: none"> • Pas d'émission d'une substance nocive pour la santé humaine : très favorable • Emission d'une substance ou plus : défavorable Env5b : Résultats de l'analyse de toxicité en DALY/pers/an <ul style="list-style-type: none"> • DALY < 0.0068 = défavorable • DALY > 0.0068 = très défavorable Env5c : <ul style="list-style-type: none"> • Une stratégie mise en place pour éviter cette émission : très favorable • Une stratégie mise en place pour limiter cette émission ou son effet : favorable • Pas de stratégie : très défavorable
Remarques	Pour l'indicateur Env5b, le DALY est une mesure du nombre d'années de vie perdues en raison d'une maladie. C'est à cette unité de dommage décrite par l'OMS que se rapportent les ACV pour la santé humaine. La valeur de 0.0068 DALY/pers/an correspond à l'effet que chaque européen subit "naturellement". Cela correspond à une réduction de l'espérance de vie de 2.5 jours par personne et par an. Il n'existe pas actuellement de valeur calculée pour l'Afrique. C'est pour cette raison que la valeur pour l'Europe a été choisie.

Critère Env6 : Biodiversité

Il est nécessaire pour l'entreprise de combattre la perte de biodiversité potentielle liée à un tel projet et de garantir la production à long terme.

But de ce critère	La biodiversité a déjà subi de nombreuses réductions dans cette région où les forêts sont presque inexistantes. Il faut donc éviter qu'elles soient encore plus menacées car la diminution de la biodiversité est synonyme de risque sur l'équilibre éco-systémique. Cependant, la biodiversité végétale et animale de la région peut évoluer pour des raisons totalement indépendantes du projet. Il est donc nécessaire que l'entreprise s'assure que cette biodiversité ne subisse pas de pression supplémentaire à cause du projet. Le risque est donc que les paysans coupent du bois pour le vendre à AshakaCem. Elle doit également répondre à une pression internationale et être exemplaire.
Indicateurs	Env6a = Pourcentage de la biomasse livrée qui est passée par un contrôle de qualité garantissant l'absence de bois. Env6b = évolution de la biodiversité dans le sol à cause du projet
Echelle de valeurs	Env6a : <ul style="list-style-type: none"> • Plus de 50% = très favorable • Entre 20 et 50% = favorable • Moins de 20% = défavorable Env6b : <ul style="list-style-type: none"> • Amélioration de la biodiversité du sol = favorable • Diminution de la biodiversité du sol = très défavorable
Remarques	Env6a : La totalité de ce qui est livré ne peut pas être vérifié. Cette échelle de valeur pourra être adaptée après quelques années, une fois que les bonnes habitudes auront été prises. Env6b : La biodiversité animale du sol est difficile à observer sans effectuer une analyse spécifique. Il est possible de passer par l'évaluation de l'augmentation de fertilité du sol dans notre cas, sachant que les modes de culture mis en place ont pour but d'améliorer cette biodiversité.

6.7.4. Etapes 5 et 6 : Evaluation et correction de la méthodologie

Dans une logique itérative de définition du projet et d'adaptation des critères afin d'atteindre un optimum, les critères ci-dessus doivent être utilisés pour faire une première évaluation et identification des problèmes qui pourraient être rencontrés. Des actions doivent ensuite être prises par l'entreprise et les partenaires pour résoudre ces problèmes ou des explications doivent être données qui satisfont toutes les parties prenantes, dans un esprit de reporting global.

Etant dans un processus itératif, cette méthodologie peut être appliquée plusieurs fois afin de vérifier l'avancement des progrès.

Cette méthodologie a donc été utilisée une première fois, et ses résultats sont présentés au chapitre 7.

6.8. Conclusion

Ce chapitre a permis d'identifier les limites à l'utilisation de l'Analyse du Cycle de Vie dans les pays en développement, et de proposer des pistes pour réaliser une évaluation des impacts adaptée au contexte dans lequel elle a lieu.

L'analyse du cycle de vie est un outil très puissant. Les résultats qu'elle permet d'obtenir sont précis et dignes de confiance. L'exercice de pousser un outil dans ses limites me permet d'illustrer un élément important. En effet, nous avons couramment tendance à croire à l'universalité des outils d'analyse. Cependant, force est de constater que les outils eux-mêmes sont empreints du contexte duquel ils sont issus et en véhiculent les valeurs culturelles et les biais.

Ainsi l'utilisation de l'ACV dans un pays en développement pose plusieurs problèmes. Outre les problèmes techniques de réalisation et le choix des catégories d'impact qui ne sont pas adaptées, un des problèmes majeurs est la précision des résultats. Il a été montré que cette précision donne un caractère scientifique et objectif aux impacts environnementaux identifiés, ce qui leur donne un poids bien trop important face aux autres types d'impacts socio-économiques qui n'ont pas d'outil d'évaluation aussi précis pour être évalués. Cependant, comme je l'ai montré, il n'est souvent pas possible d'obtenir des données d'inventaires précises dans les pays en développement. Ainsi, la précision des résultats leur donne un faux air de qualité. Il y a par ailleurs un besoin de replacer l'analyse environnementale dans son contexte socio-économique. L'évaluation d'impacts socio-économiques se base sur l'évaluation par rapport à des objectifs.

J'ai montré dans ce chapitre qu'il y a une nécessité dans les pays en développement de recentrer l'analyse sur l'être humain. Celui-ci est généralement considéré comme hors des limites du système par l'ACV. Cette prise de conscience implique de réintégrer l'humain dans l'esprit de l'analyse (intégrer une vision sociale des impacts environnementaux), mais également dans les indicateurs (énergie humaine).

Sur la base de ces critiques, j'ai proposé un nouveau cadre méthodologique pour établir une méthodologie d'analyse propre à chaque projet. Cette stratégie en six étapes permet de déterminer des critères d'évaluation économiques, sociaux et environnementaux. Pour rendre les résultats de l'analyse opérationnels, chaque résultat est évalué de manière à estimer le degré d'atteinte des objectifs fixés. Cette manière de faire permet une utilisation très efficace de cet outil d'analyse et de déterminer un cadre pour que le projet s'inscrive dans une perspective de durabilité.

Ainsi, sur la base d'un outil d'analyse environnementale très performant dans un contexte industriel, mais difficile à utiliser dans un contexte non industriel, j'ai développé un outil permettant d'évaluer la durabilité d'un projet dans un pays en développement. La méthodologie est propre au projet, mais la stratégie pour développer cette méthodologie d'analyse est, elle, générique.

6.9. Bibliographie

- ARE (2007). *Evaluer la durabilité des projets dans les cantons et les communes. Guide pratique*. DuPasquier, A., Cattaneo, P., Knoepfel, P. and Münster, M. Berne, Office fédéral du développement territorial (Suisse)
- Benoît, C. and Mazijn, B. (2009). *Guidelines for Social Life Cycle Assessment*, UNEP/SETAC Life Cycle Initiative: 104
- Boustead, I. and Hancock, G. F. (1979). *Handbook of Industrial Energy Analysis* New York, Chichester, Brisbane, Toronto, John Wiley & Sons.
- Burke, A., Kyläkorpi, L., Rydgren, B. and Schneeweiss, R. (2008). "Testing a Scandinavian Biodiversity Assessment Tool in an African Desert Environment." *Environmental Management* **42**(4): p.698-706. <http://dx.doi.org/10.1007/s00267-008-9128-0>
- Cambois, E., Laborde, C. and Robine, J.-M. (2008). "La "double peine" des ouvriers: plus d'années d'incapacité au sein d'une vie plus courte." *Bulletin population et sociétés. Bulletin mensuel d'information de l'institut national d'études démographiques (INED)*. **441**(Janvier 2008): p.4. http://www.ined.fr/fr/ressources_documentation/publications/pop_soc/bdd/publication/1341/
- Charmes, J. (1995). *Emploi, chômage et secteur informel en Afrique : évolutions des deux dernières décennies, enjeux actuels et solutions recherchées. Séminaire préparatoire au Sommet Mondial pour le Développement Social (Copenhague, mars 1995). Le développement peut-il être social? Pauvreté, chômage, exclusion dans les pays du Sud*. Royaumont, 9-11 janvier 1995
- Commission des droits de l'homme. (1948). "Déclaration universelle des droits de l'homme." Retrieved 02.06.2010, from <http://www.un.org/fr/documents/udhr/index.shtml#a24>.
- Corbière-Nicollier, T., Ferrari, Y., Jemelin, C. and Jolliet, O. (2003). "Assessing sustainability: An assessment framework to evaluate Agenda 21 actions at the local level." *International Journal of Sustainable Development & World Ecology* **10**(3): p.225 - 237. <http://www.informaworld.com/10.1080/13504500309469801>
- Coriat, B. (1994). *L'atelier et le chronomètre*. 298p Paris, Editions Christian Bourgois.
- Demont, Y. (2010). *L'énergie humaine dans l'ACV pour les pays en développement. Travail personnel de recherche, bachelor en géographie*. Lausanne, Université de Lausanne
- Dürr, H.-P. (1999). *The 1,5 Kilowatt society*. CISBAT'99. EPFL, LESO, Lausanne.: 21-30
- FAO (1997). *Energie durable*. In *Action21: Rapport d'activité*. Sommet Planète Terre+5: le chemin parcouru depuis Rio. Département du développement durable (SD) de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).
- Finnveden, G., Hauschild, M., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D. and Suh, S. (2009). "Recent developments in Life Cycle Assessment." *Journal of Environmental Management* **91**(1): p.1-21

- Flourentzou, F., Greuter, G. and Roulet, C.-A. (2003). *Hermione, une nouvelle méthode d'agrégation qualitative basée sur des règles*. 58èmes journées du groupe de Travail Européen Aide Multicritère à la Décision. 9-11 octobre 2003, Moscou
- Fraenkel, P. L. (1986). *Chapitre 4. Alimentation en énergie des installations de pompage. Partie "Force motrice humaine"*. In Les machines éleveoires. FAO. **Bulletins FAO d'irrigation et de drainage - 43**
- Frischknecht, R. (1998). *Life cycle inventory analysis for decision-making. Scope-dependent inventory system models and context-specific joint product allocation*. Zürich, Swiss federal institute of technology Zurich. **Doctoral Thesis: 282**
- Geyer, R., Stoms, D., Lindner, J., Davis, F. and Wittstock, B. (2010). "Coupling GIS and LCA for biodiversity assessments of land use." The International Journal of Life Cycle Assessment **15**(5): p.454-467. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-010-0170-9>
- GFN (2009). *Rapport sur l'Empreinte Ecologique. Afrique 2009. Assurer le développement humain dans un monde aux ressources limitées*, Global Footprint Network: 119
- GRI (2006). *Lignes directrices pour le reporting développement durable. Version 3.0*, Global Reporting Initiative: 46. http://www.globalreporting.org/NR/rdonlyres/C5E61A92-7CE0-403C-B9EC-7BABC182FDA8/2847/G3_FR_RG_Final_with_cover.pdf
- Haas, G., Wetterich, F. and Geier, U. (2000). "Life cycle assessment framework in agriculture on the farm level." The International Journal of Life Cycle Assessment **5**(6): p.345-348. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02978669>
- Henshaw, P., Lu, B., Doka, G., Muñoz Ortiz, I., Almeida, M., Ingwersen, W., Frischknecht, R., Ekvall, T. and Laurin, L. (2009). *Discussion about Human Labor in LCA (Title 1 : which impact to count?, Title 2 : Include food for workers in LCA), Date 21.4.2009-12.05.2009*. LCA discussion list of PRé Consultants. <http://lists.lyris.net/cgi-bin/lyris.pl?enter=lca>
- Hicks, A. (1997). *Power and food security. FAO sustainable development dimensions*. International Solar Energy Society (ISES) 1997 Solar World Congress, 24-30 August 1997. Taejon (Korea): 8. <http://www.fao.org/sd/EGdirect/EGan0006.htm>
- ISO (2006a). *Norme ISO 14040 : 2006 (F), Management environnemental - analyse du cycle de vie - principes et cadre*. Genève, Organisation Internationale de Normalisation: 23
- ISO (2006b). *Norme ISO 14044 : 2006 (F), Management environnemental - analyse du cycle de vie - Exigences et lignes directrices*. Genève, Organisation Internationale de Normalisation: 49
- ISO (2010). *Norme ISO 26000:2010, Guidance on social responsibility*. Genève, Organisation Internationale de Normalisation: 106
- Jancovici, J.-M. (2005). "Combien suis-je un esclavagiste?" Retrieved 12.07.2010, from <http://manicore.com/documentation/esclaves.html>.

- Lindeijer, E. (2000). "*Biodiversity and life support impacts of land use in LCA.*" Journal of Cleaner Production **8**(4): p.313-319. [http://dx.doi.org/10.1016/S0959-6526\(00\)00025-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0959-6526(00)00025-1)
- Marquis, J.-F. (2010). Conditions de travail, chômage et santé, la situation en Suisse à la lumière de l'Enquête suisse sur la santé 2007. 180p Lausanne, Editions Page deux.
- Martin, A. (2001). Apports nutritionnels conseillés pour la population française. 658p Paris, éditions Tec & Doc Lavoisier / AFSSA.
- Milà i Canals, L., Bauer, C., Depestele, J., Dubreuil, A., Freiermuth Knuchel, R., Gaillard, G., Michelsen, O., Müller-Wenk, R. and Rydgren, B. (2007). "*Key Elements in a Framework for Land Use Impact Assessment Within LCA.*" The International Journal of Life Cycle Assessment **12**(1): p.5-15. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2006.05.250>
- Notten, P. (2009). *Unit Process Data – Building more relevant LCAs for Developing Economies*. The 4th International Conference on Life Cycle Management. Cape Town: 6
- PNUD (2009). *Statistiques du Rapport mondial sur le développement humain*. In Rapport mondial sur le développement humain 2009. New York.
- Roubaud, F. (2009). "*La production statistique sur le secteur informel en Afrique : quels enseignements et quelles perspectives?*" Stateco **104**: p.115-126
- Schmidt, J. H. (2008). "*Development of LCIA characterisation factors for land use impacts on biodiversity.*" Journal of Cleaner Production **16**(18): p.1929-1942. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.01.004>
- Spielmann, M., Bauer, C., Dones, R. and Tuchs Schmid, M. (2007). *Life Cycle Inventory of Transport Services. Data v2.0, ecoinvent report No. 14*. Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories
- Supiot, A. (2010). L'esprit de Philadelphie. La justice sociale face au marché total. 178p, Editions du Seuil.
- UNEP/SETAC Lifecycle Initiative. (2010). "*Life Cycle Impact Assessment programme. Phase 1.*" Retrieved 1.06.2010, from http://fr1.estis.net/sites/lcinit/default.asp?site=lcinit&page_id=67F5A66D-9EB8-4E75-B663-297B7FD626B6 ou <http://www.estis.net/sites/lcinit/> > About Us > Life Cycle Impact Assessment Programme.
- Vaast, C. (2008). Les fondamentaux du cyclisme. Tome 2 : Programmer et gérer son entraînement. 520p Espagne.
- Whitt, F. R. and Wilson, D. G. (1981). Bicycling science : ergonomics and mechanics London.
- Zamagni, A., Buttol, P., Porta, P. L., Buonamici, R., Masoni, P., Guinée, J., Heijungs, R., Ekvall, T., Bersani, R., Bienkowska, A. and Pretato, U. (2008). *Critical review of the current research needs and limitations related to ISO-LCA practice*. Roma, Italy,

ENEA and CALCAS (Coordination Action for innovation in Life-Cycle Analysis for Sustainability)

Chapitre 7

Application de la méthodologie d'évaluation de la durabilité à une étude de cas

7.1. Introduction

Suite au constat de l'inadaptation de l'Analyse du Cycle de Vie dans les pays en développement, j'ai développé au chapitre 6 un cadre méthodologique pour définir une méthodologie d'évaluation de la durabilité propre à chaque projet.

Cette stratégie suit six étapes et permet de déterminer des critères d'évaluation et des indicateurs dont les résultats sont analysés selon une échelle de valeur commune.

Pour le projet d'AshakaCem, nous avons réalisé les quatre premières étapes au chapitre 6. Nous avons ainsi obtenu les critères et les indicateurs propres à ce projet. L'étape cinq et l'étape six seront présentées dans ce chapitre. Il s'agit pour l'étape cinq de réaliser l'évaluation des quatorze critères définis et pour l'étape six d'interpréter ces résultats.

Ce chapitre nous mènera à déterminer si le projet a été correctement défini pour répondre aux besoins des parties prenantes et nous permettra d'identifier les points nécessitant encore d'être abordés pour que le projet s'inscrive dans une perspective de durabilité.

Un projet réussi et ayant une perspective durable attestée est susceptible d'être reproduit. Ces questions de reproductibilité du projet et de la méthode d'analyse seront traitées au chapitre 8, où je présenterai des éléments importants pour un tel projet de Symbiose Agro-Industrielle.

7.2. Evaluation des critères économiques

L'évaluation des critères économiques définis au chapitre 6 est présentée dans ce paragraphe. L'évaluation concerne la première année pilote. Le projet a entre temps évolué et des modifications ont été faites. Cependant, celles-ci n'ont pour l'instant pas encore fait l'objet d'un rapport officiel et ne peuvent donc pas être évaluées.

7.2.1. Critère E1 : Prix de l'énergie

Ce point a été abordé dans le rapport sur la première année pilote [Giraudy 2010].

Tout d'abord, le prix de l'énergie fossile a beaucoup évolué dernièrement. Il était initialement fixé par le prix du LPFO. Ce combustible a été très récemment abandonné pour être remplacé par du charbon. Cependant la mauvaise qualité du charbon en question a rendu son prix au gigajoule plus élevé que prévu, mais malgré tout moins élevé que le LPFO.

Le prix estimé du charbon est d'environ 4,5 €/GJ. Le prix (rendu brûleur) de l'énergie issue de la biomasse est estimé actuellement à 3,42 €/GJ (et pourrait augmenter à 3,93 €/GJ si le prix de la biomasse est augmenté). Ainsi $E1 = P_{\text{fossile}} - P_{\text{biomasse}} = 4,5 \text{ €} - 3,42 \text{ €} = 1,08 \text{ €}$. Ce chiffre étant positif, cet indicateur peut être dans un premier temps considéré comme très favorable. Une adaptation ultérieure plus précise de l'échelle de valeur permettra de fixer des objectifs plus précis à atteindre.

7.2.2. Critère E2 : Marché

Ce critère est évalué par deux indicateurs.

Pour le premier indicateur, E2a, le projet mis en place donne accès aux paysans à un lieu de vente de leurs produits. Cet indicateur est donc favorable.

Pour le deuxième indicateur, E2b, les paysans n'ont pas la possibilité de négocier les prix. Les associations de paysans non plus. Cependant, après une première année de production, les paysans partenaires ont fait savoir à travers l'enquête nécessaire au bilan qu'ils n'étaient pas satisfaits par le prix obtenu, qui ne leur permet pas d'être rentables. L'entreprise a entendu ces critiques et pense augmenter le prix payé pour la deuxième saison. Cet indicateur peut donc être considéré comme neutre et pourrait être encore amélioré par la suite.

7.2.3. Critère E3 : Proportionnalité de la rémunération

Les évaluations [Giraudy 2010] du prix payé aux paysans par kilogramme de biomasse lors de la première année pilote ont montré que celui-ci était trop bas pour que cette culture de biomasse soit rentable pour les paysans.

Le calcul présenté pour l'indicateur du critère E1 permet d'estimer que l'entreprise serait en mesure d'augmenter ce prix. Lors de cette première année, les paysans recevaient 5 NGN¹ par kg de biomasse. L'étude pilote a montré que ce revenu ne permettait pas aux paysans de rentrer dans leurs frais. Il a été proposé d'augmenter ce prix à 8 NGN pour améliorer la rentabilité.

Sans avoir de chiffre précis sur la rémunération de chaque paysan nous pouvons estimer sur la base des éléments ci-dessus, que si le prix de la biomasse est de 5 NGN, l'indicateur E3 sera inférieur à 1 et sera donc défavorable. Au contraire, si le prix est de 8 NGN par kilogramme, l'indicateur E3 devrait être compris entre 1 et 4, et serait donc favorable.

7.2.4. Critère E4 : Valoriser les activités agricoles

Le nombre de paysans ayant actuellement un contrat avec AshakaCem pour produire de la biomasse est de 80 environ (sur un total de plusieurs milliers). L'indicateur E4 est très largement inférieur aux 30% minimum des paysans de la région, ce qui peut donc être qualifié de très défavorable. Cependant, ceci est facilement explicable car le projet n'en est qu'à sa première année pilote, au cours de laquelle seul un petit nombre de paysans devait être introduit aux techniques. Ce petit nombre de paysans sert ainsi d'incubateur pour le projet avant qu'il ne soit diffusé à plus grande échelle.

Le nombre de paysans ayant un contrat pour la production de biomasse devrait rapidement croître les prochaines années.

¹ NGN signifie Nairas. Il s'agit de la monnaie du Nigéria. 1'000 NGN valent 6,64 USD le 21 juillet 2010.

7.3. *Evaluation des critères socio-économiques*

L'évaluation des critères socio-économiques définis au chapitre 6 est présentée dans ce paragraphe. L'évaluation concerne la première année pilote. Le projet a entre temps évolué et des modifications ont été faites. Cependant, celles-ci n'ont pour l'instant pas encore fait l'objet d'un rapport officiel et ne peuvent donc pas être évaluées.

7.3.1. Critère S1 : Formation technique

Ce critère est évalué par deux indicateurs.

L'indicateur S1a s'intéresse au pourcentage de paysans sous contrat ayant eu accès à un cours sur les techniques agricoles. Selon le bilan de la première année pilote, les paysans ont tous suivi des cours sur les techniques à utiliser. Cet indicateur est donc très favorable.

L'indicateur S1b s'intéresse à la qualité et à l'efficacité des cours et aux rendements comparés de plusieurs années. Il n'y a pas encore d'année de référence avec laquelle comparer les rendements des paysans. Il n'est donc pas possible de déterminer si les informations ont été correctement appliquées sur la base des rendements obtenus. Par contre, nous pouvons estimer que la qualité du suivi est bonne car les paysans ont suivi un cours théorique, et ont été suivis de manière hebdomadaire sur le terrain. Cet indicateur peut donc être estimé comme étant très favorable.

7.3.2. Critère S2 : Respect de l'organisation sociale locale

Dans cette première phase pilote, une grande liberté a été laissée aux paysans dans le choix des plantes et des techniques utilisées. La seule condition pour qu'un paysan puisse participer au programme était qu'il s'engage à utiliser au moins une des plantes et une des techniques. Cet indicateur est donc très favorable.

L'intégration d'un plus grand nombre de paysans va certainement diminuer cette liberté de choix. Il sera donc nécessaire de vérifier ce critère après plusieurs années d'exploitation.

7.3.3. Critère S3 : Sécurité alimentaire

Une évaluation du risque pour la sécurité alimentaire a été effectuée dans le rapport de la première année pilote [Giraudy 2010]. Il ressort de cette évaluation que pour être autonome en nourriture, une famille doit produire au minimum 250 kg de céréales par personne et par année. Le bilan montre que dans 60% des villages concernés, il y a un danger pour la sécurité alimentaire car la production est inférieure à ce chiffre. Cependant, il a également été montré que les villages produisant moins que leur consommation étaient également ceux dont les autres possibilités de travail étaient les plus élevées en raison de la taille du village/ville et de sa position (sur une route, lieu de passage). Il a donc été estimé que la population paysanne locale était en mesure d'évaluer la quantité de céréales nécessaire à planter chaque année. Par contre, le manque de diversité dans les cultures de rente est un réel problème qui peut mettre en péril la sécurité alimentaire.

Ainsi, il n'est pas possible d'évaluer de manière chiffrée les indicateurs S3a et S3b. Mais nous pouvons estimer de manière qualitative que ces indicateurs sont globalement favorables.

7.3.4. Critère S4 : Associations d'agriculteurs

Au vu du petit nombre d'agriculteurs ayant participé à la première année pilote, le projet ne s'est pas appuyé sur des associations de paysans existantes, mais a sélectionné dix agriculteurs par village.

L'indicateur S4a indique le nombre de paysans par association. Le projet ayant fixé comme critère de sélection qu'une association doit compter au minimum 30 paysans pour pouvoir être un partenaire du projet, nous considérons que cet indicateur est favorable. Il devra cependant être réévalué dans quelques années, afin de s'assurer que cette règle est bien suivie. En l'état actuel et en l'absence d'associations, cet indicateur est évalué comme neutre.

L'indicateur S4b s'intéresse à la qualité des statuts et au nombre de réunions annuelles. Etant donné que le projet ne s'est pas encore appuyé sur des associations pour travailler, il n'y a actuellement pas d'information sur le nombre de réunions annuelles. Les réunions sont pour l'instant directement reliées à la formation que reçoivent les paysans. Les associations ne sont donc pas indépendantes, et la valeur du critère pour l'instant est estimée comme neutre.

Nous pouvons estimer que les associations existantes vont grandir et se formaliser au cours des prochaines années avec l'agrandissement prévu du projet.

7.4. *Evaluation des critères environnementaux*

Pour l'évaluation des critères environnementaux, il reste nécessaire de conserver une vision du cycle de vie. Les critiques et propositions s'appuient sur une adaptation de l'Analyse du Cycle de Vie, dont nous évaluerons un certain nombre de critères selon ce qui a été défini au chapitre 6. Pour pouvoir réaliser l'ACV, des modifications ont d'abord dû être réalisées au niveau de la définition du système et de ses limites ainsi que des données utilisées. Je présenterai donc d'abord ces modifications puis l'évaluation des critères environnementaux à proprement parler.

7.4.1. Modification du système évalué et des inventaires

Définition du système

La définition des limites du système doit être adaptée pour inclure toutes les modifications positives et négatives provoquées par la mise en place du projet de Symbiose Agro-Industrielle.

Pour être exhaustives, les limites du système doivent inclure l'ensemble des activités nécessaires pour produire et utiliser 116'000 GJ d'énergie, ainsi que le système de production vivrière pour les 6000 paysans concernés (voir Figure 7.1). En effet, celui-ci étant modifié par l'introduction d'une culture de rente et de nouvelles techniques culturales, il doit faire partie de l'évaluation.

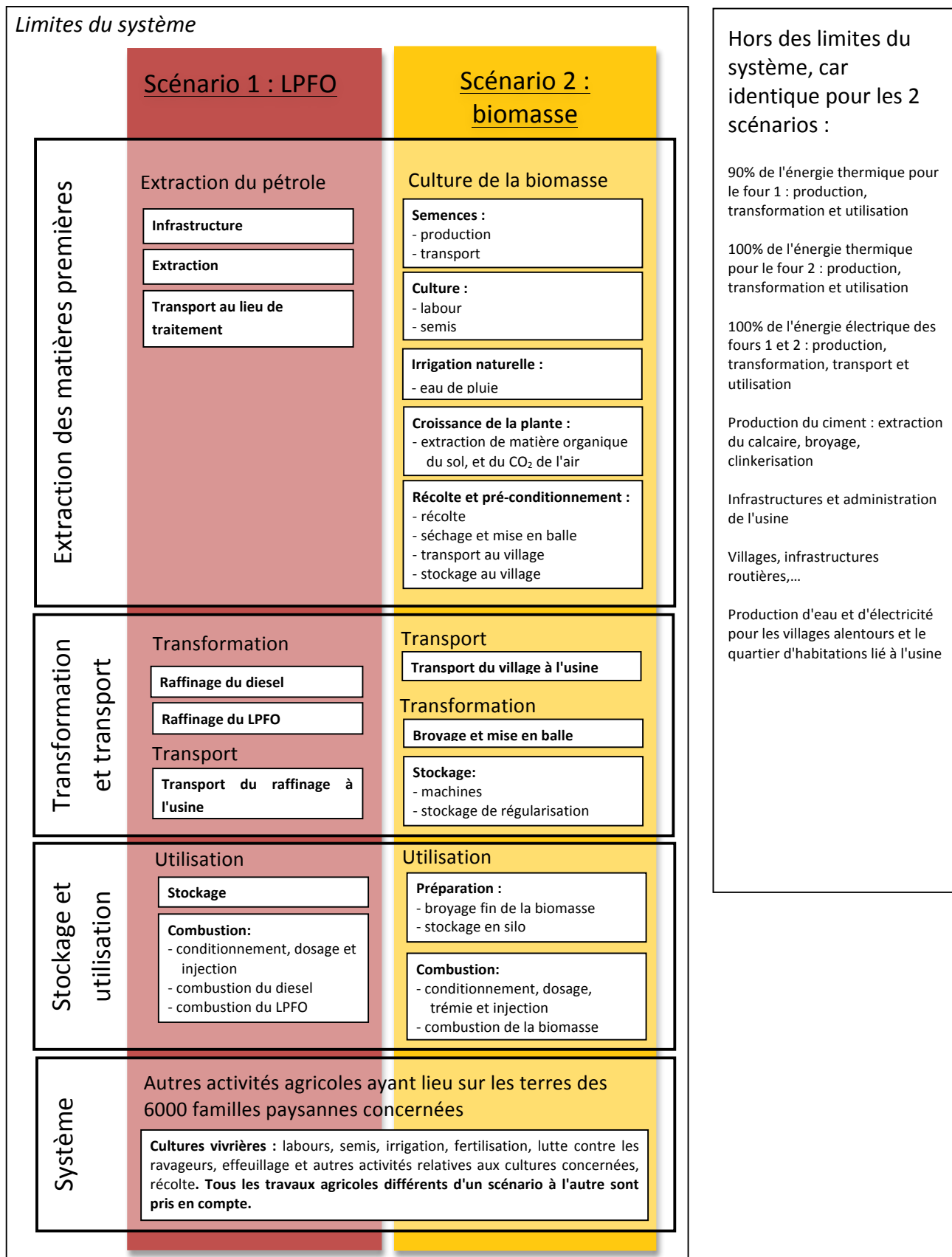


Figure 7.1 : Limites du système, suite à l'élargissement des limites pour inclure les cultures vivrières existantes.

Inventaire

La grande majorité des données d'inventaire a dû être adaptée à partir de données existantes. Ceci avait déjà été fait lors de l'ACV présentée au chapitre 5. Le tableau de qualité des données (Tableau 5.2 et Tableau 5.3) indique si la donnée a été prise telle quelle ou si elle a dû être modifiée.

Pour la production de LPFO (Scénario 1), toutes les données ont été adaptées pour n'inclure que ce qui concerne le Nigéria, et adapter le transport aux conditions réelles.

Pour ce qui concerne le scénario 2 (Biomasse), presque aucune des données nécessaires n'était disponible.

N'ayant pas de données proches à adapter, ou ne connaissant pas suffisamment les différences pour adapter les données existantes, certaines données ont été prises telles quelles dans la base de données, sans adaptation. Il s'agit notamment des semences, du transport et des machines de transformation de la biomasse. Certaines données sont des flux de substances (eau, occupation du sol) et représentent donc des flux calculés ou mesurés. Un petit nombre de données a été adapté à partir de données existantes : croissance des plantes et combustion de la biomasse.

7.4.2. Critère Env1 : Bilan des gaz à effet de serre

Comme je l'ai mentionné au chapitre 5, l'impact sur les changements climatiques doit inclure les consommations et émissions de CO₂ biogénique. Cela a été présenté au chapitre 5 et montre que l'utilisation de biomasse produite localement avec des techniques basées sur l'énergie humaine permet de réduire de manière significative les impacts sur les changements climatiques.

Les résultats chiffrés sont les suivants (Tableau 7.1) :

Tableau 7.1 : Bilan des émissions de CO₂-équivalent fossile et biogénique pour la production de 116'000 GJ d'énergie thermique issue de la combustion de LPFO ou de biomasse.²

	Bilan du CO ₂ -equ fossile	Bilan du CO ₂ -equ biogénique	Total
Scénario 1 : LPFO	12'463 t	1 t	12'464 t
Scénario 2 : Biomasse	2'259 t	-1'155 t	1'104 t

Ces résultats montrent que la production de 116'000 GJ d'énergie thermique, permettant de produire environ 36'000 tonnes de ciment nécessitent l'émissions de 12'500 tonnes de CO₂équ

² Résultats obtenus avec la méthode Impact 2002+, adaptée pour inclure les émissions biogéniques. Les émissions et consommations suivantes sont comptabilisées avec l'équivalence précisée. Les émissions non précisées participent pour moins de 0,2% à l'augmentation du changement climatique :

Pour le CO₂-équivalent fossile : CO₂ fossile (1), CO_{fossile} (1.57), CH₄ fossile (7), N₂O (156)

Pour le CO₂-équivalent biogénique : CO₂ biogénique (1), CO_{biogénique} (1.57), CH₄ biogenic (4.25), CO₂ air consommé (-1).

si l'on utilise un carburant fossile tel que le LPFO, alors que seules 1'100 tonnes de CO₂équ sont émises si l'on utilise de la biomasse.

Ainsi, le remplacement de LPFO par de la biomasse produite localement permet de réduire de 91% les émissions CO₂-équ dues à la production de chaleur. L'utilisation de biomasse produite localement pour produire 116'000 GJ d'énergie thermique à la place de LPFO permet d'économiser la production de 11'360 tonnes de CO₂-équ.

L'indicateur choisi pour évaluer ce critère est le pourcentage de réduction des émissions totales de gaz à effet de serre. Env1 étant égal à 91%, soit plus de 50%, cet indicateur donne une évaluation très favorable.

7.4.3. Critère Env2 : Bilan énergétique total

Le bilan énergétique total est basé sur deux indicateurs. Le premier indicateur s'intéresse au bilan d'énergie primaire total. Le second s'intéresse, dans le cas d'une augmentation de l'énergie primaire consommée, à la part de cette augmentation qui est d'origine renouvelable et gérée durablement.

Pour pouvoir établir le bilan d'énergie primaire total, il nous faut revenir sur les résultats d'énergie humaine consommée.

Energie humaine

J'ai montré au chapitre 6 que l'énergie humaine nécessaire aux travaux agricoles de production de biomasse peut être comptabilisée. Les chiffres actuels sont ceux de la première année pilote. Ils se rapportent au travail nécessaire par hectare et sont donc largement dépendants du rendement à l'hectare. Les rendements de la première année sont ici largement inférieurs à ceux attendus pour différentes raisons : manque de pluie, retard dans les semis, adaptations des souches de semences encore nécessaires, etc.

Les rendements moyens ont été de 2,2 tonnes par hectares pour les légumineuses (*Crotalaria*), en prenant en compte une monoculture. Il n'y a pas encore de rendement pour le *Jatropha* au cours de la première année. Et les herbes de Vétiver n'ont pas été testées la première année. Ainsi, en prenant un rendement de 2,2 tonnes par hectare, il faut 3700 ha pour obtenir 8144 tonnes de biomasse.

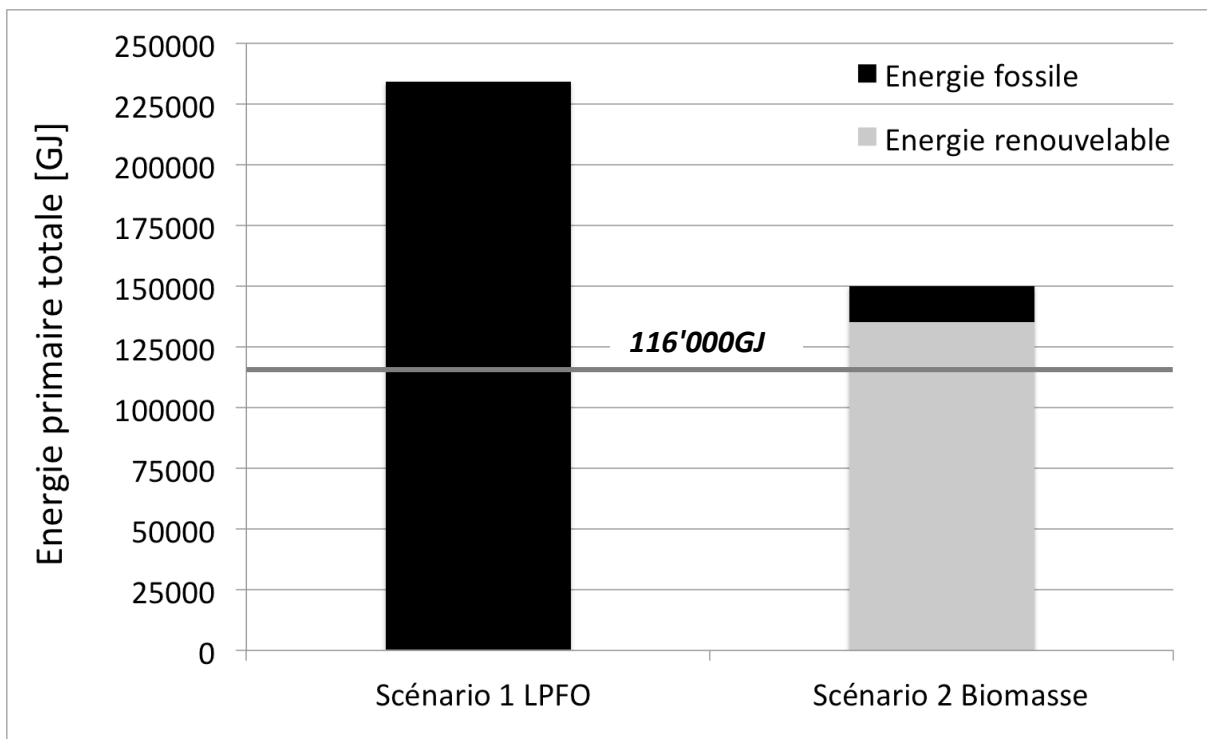
Avec les chiffres actuels, il faut 20,16 MJ d'énergie humaine par hectare. Pour l'ensemble du scénario 2, cela représente 74'592 MJ d'énergie humaine.

Bilan de l'énergie primaire

La détermination de l'énergie humaine consommée nous permet de compléter le bilan des énergies primaires totales consommées (renouvelables et non renouvelables), qui est résumé au tableau 7.2 et illustré à la figure 7.2.

Tableau 7.2 : Bilan de l'énergie primaire totale consommée

	Production		Transformation		Combustion		Total (GJ)
	Energie renouvelable (GJ)	Energie non renouvelable (GJ)	Energie renouvelable (GJ)	Energie non renouvelable (GJ)	Energie renouvelable (GJ)	Energie non renouvelable (GJ)	
Sc1	355	233'848	0	0	3	67	234'276
Sc2	134'306 (dont 75 GJ én. humaine)	12'856	73	1'525	653	707	150'120

**Figure 7.2 : Répartition de l'énergie totale pour les deux scénarios**

Ainsi, pour produire 116'000 GJ d'énergie thermique pour la production de ciment, il faut plus de 234'000 GJ d'énergie primaire provenant de LPFO, soit deux fois plus d'énergie primaire que d'énergie utile. La presque totalité de cette énergie primaire est non renouvelable.

Il faut 150'000 GJ d'énergie primaire pour produire 116'000 GJ d'énergie thermique utile à partir de biomasse, soit 1,3 fois plus d'énergie primaire que d'énergie utile. La grande majorité est de l'énergie renouvelable contenue dans la biomasse elle-même.

Ceci nous permet de réaliser que l'énergie fournie à partir de biomasse a un bien meilleur rendement que celle fournie à partir de LPFO. La raison principale est que la production de biomasse est basée sur de l'énergie humaine, qui s'avère être une énergie très efficace.

Notons que les chiffres donnés pour la puissance du travail humain sont des chiffres grossiers, que nous pouvons plutôt considérer comme des ordres de grandeur que comme des chiffres précis. Cependant, même en imaginant que l'énergie fournie par l'être humain soit en réalité dix fois plus élevée pour le même travail, et vaille ainsi des puissances de 200 W pour un travail moyennement dur et 500 W pour un travail très difficile, la part de l'énergie humaine atteindrait alors 750 GJ pour notre scénario, soit moins de 1% de l'énergie fournie sous forme de chaleur.

Nous pouvons à présent calculer nos indicateurs. L'indicateur Env2a vaut :

$$\text{Env2a} = 1 - E_{\text{tot_biomasse}}/E_{\text{tot_LPFO}} = 0,34$$

Nous pouvons donc considérer cet indicateur comme très favorable. Etant donné qu'il n'y a pas d'augmentation de la consommation d'énergie primaire, il n'est pas possible ni nécessaire d'évaluer l'indicateur Env2b.

Il pourrait par ailleurs être intéressant d'aller un peu plus loin dans l'analyse et de comparer l'efficacité des deux vecteurs énergétiques utilisés. Nous comparons ainsi pour les deux vecteurs uniquement la part d'énergie dissipée pour leur production et préparation.

Nous obtenons ainsi pour la biomasse : $E_{\text{dissipée_biomasse}} = E_{\text{tot_biomasse}} - 116'000 \text{ GJ} = 34'120 \text{ GJ}$.

Et pour le LPFO : $E_{\text{dissipée_LPFO}} = E_{\text{tot_LPFO}} - 116'000 \text{ GJ} = 118'276 \text{ GJ}$.

En comparant les deux vecteurs, nous illustrons une fois encore que la biomasse est dans ce projet bien plus efficace que le LPFO et que l'utilisation de biomasse permet d'éviter la dissipation de 71% d'énergie :

$$\text{Efficacité biomasse} = 1 - E_{\text{dissipée_biomasse}}/E_{\text{dissipée_LPFO}} = 71\%$$

Nous pouvons également utiliser ici la notion d'EROI (Energy return on investment). Cette notion a plusieurs définitions qui ne sont pas toutes équivalentes, et nous prenons ici celle donnée par Cleveland et Costanza [2006] :

$$\text{EROI} = \frac{\text{Quantité d'énergie fournie}}{\text{Quantité d'énergie primaire consommée}} \quad (\text{Equation 7.1})$$

Ainsi, le retour énergétique sur investissement vaut :

$$\text{EROI (LPFO)} = 116'000/234'276 = 0,495$$

$$\text{EROI (Biomasse)} = 116'000 / 150'120 = 0,773$$

7.4.4. Critère Env3 : Fertilité des sols

Il n'est pas possible de déterminer à l'avance les impacts sur la fertilité et l'utilisation du sol. La conservation de la fertilité du sol est l'un des objectifs du projet. Son suivi et son évaluation serviront donc à améliorer les techniques et les semences employées pour qu'elles soient le plus adaptées possibles au contexte.

La première année pilote a fait l'objet d'une évaluation qualitative. Celle-ci a montré que les rendements des cultures de céréales n'ont pas diminué par l'introduction de la culture de biomasse. Il faut savoir qu'en cas d'année difficile, les paysans plantent et soignent en premier lieu leurs cultures vivrières.

Certains champs dont la qualité du sol était très basse n'ont pas eu de bons rendements pour la biomasse. Mais le fait de ne pas récolter cette biomasse et de la laisser dans les champs permet d'améliorer globalement la fertilité pour les années ultérieures.

Ainsi, les premières observations montrent que l'introduction de la culture de biomasse permet d'améliorer la gestion du sol et de sa fertilité. Une première estimation de cet indicateur serait a priori favorable car les techniques agricoles utilisées ont été introduites pour cet effet. Une évaluation plus précise pourra être réalisée après les cinq premières années du projet.

7.4.5. Critère Env4 : Ressources en eau

La situation initiale (sans culture de biomasse) est basée sur une culture pluviale. C'est-à-dire qu'elle n'est pas irriguée et que la seule eau qui arrose les cultures est l'eau de pluie. Par ailleurs, rien n'est entrepris pour retenir l'eau qui s'écoule et érode le sol. Une rivière située à proximité ainsi que des puits permettent à la population d'avoir l'eau nécessaire à leur usage quotidien.

La situation avec le projet (avec culture de biomasse) est toujours basée sur une agriculture pluviale, sans irrigation extérieure. Nous pouvons considérer que dans les deux cas, toute l'eau qui tombe sur les champs est utilisée pour les cultures, et que le surplus s'écoule ou s'évapore sans être captée. Si nous regardons les résultats présentés précédemment, nous avons déterminé qu'il y a en moyenne 33'200'000 m³ d'eau qui tombe du ciel sur la surface utilisée pour la culture. Le calcul de ce que les plantes ont besoin pour croître nous donne la quantité de 6205 m³. Cela représente un peu moins de 0,02% de la quantité totale de pluie qui tombe sur cette surface. Ainsi, même en doublant ou triplant cette quantité, cela reste une très faible partie de l'eau totale. Il n'y a donc, a priori, pas de modification de la consommation d'eau.

Cette eau de surface qui s'écoule vient remplir les réserves d'eau souterraine, dont la qualité sanitaire est généralement bien meilleure. C'est donc celle-ci qu'il convient de protéger en premier lieu. Il est possible que l'introduction de ces nouvelles techniques de culture ait une influence (positive ou négative) sur l'eau qui s'écoule et qui vient remplir les sources d'eau souterraine, de par la structure racinaire nouvelle des cultures permanentes et l'effet de la lutte contre l'érosion. Il est donc nécessaire de garder un œil sur les moyens d'approvisionnement et de voir s'il y a des modifications.

Prenons un peu de recul face à notre projet, et remettons-le dans son contexte. L'usine, pour refroidir les poussières qu'elle filtre et pour son propre fonctionnement pompe quotidiennement environ 200 m³ d'eau souterraine, ce qui représente 73'000 m³ par année. Elle a déjà épuisé une source et a donc dû faire un deuxième forage. Nous réalisons ainsi que la culture non irriguée de biomasse prévue consommerait environ 10% de l'eau déjà consommée par l'usine, et que cette eau est de l'eau de surface (de moindre qualité) et non pas de l'eau souterraine. Si un effort de réduction de la consommation d'eau était à entreprendre, il y aurait certainement plus à faire du côté de l'usine.

En supposant une pluviométrie de 700 mm par an et qu'il n'y ait pas de perte (par évaporation ou écoulement), l'usine aurait besoin d'une surface de 104'000 m², soit 10.5 ha sur laquelle capter toute l'eau de pluie pour son usage. La figure 7.3 représente un schéma du bilan de l'eau pour la surface au sol des hectares nécessaires pour la culture de biomasse, soit 11'311 hectares.

Ainsi, sur la base des observations de terrain présentées ci-dessus, je considère que les ressources en eau (de surface et souterraines) ne sont pas menacées par l'introduction de cette nouvelle culture.

Gardons en mémoire que ceci est vrai car la culture n'est pas irriguée. Si elle l'était, une nouvelle observation devrait être faite pour chiffrer l'eau consommée.

Une observation annuelle des modes d'approvisionnement en eau pour les ménages pourrait être intéressante et donnerait une indication de l'évolution de la disponibilité en eau souterraine.

Ainsi l'indicateur Env4 peut être calculé :

$$\text{Env4} = Q_{\text{biomasse}}/Q_{\text{tot}} = 6'205 \text{ m}^3/33'200'000 \text{ m}^3 = 0.00019$$

Ce résultat nous permet de considérer cet indicateur comme très favorable.

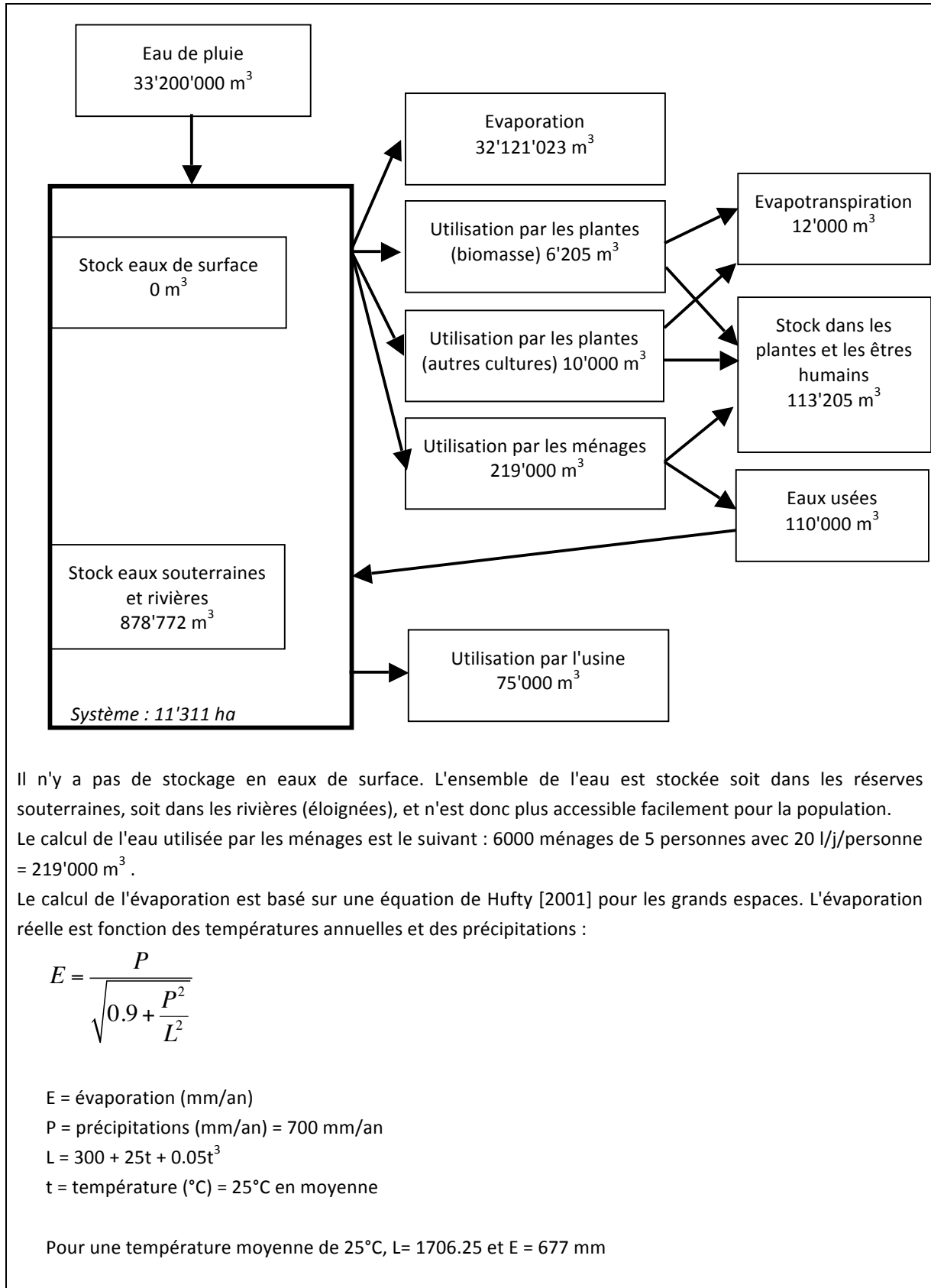


Figure 7.3 : Flux d'eau sur la surface du sol nécessaire pour la culture de biomasse

7.4.6. Critère Env5 : Santé humaine

En l'absence d'utilisation de produits chimiques (pesticides ou fertilisants) pour les cultures de biomasse, il n'y a pas d'augmentation du risque sanitaire. Par ailleurs, les graines de jatropha qui vont être cultivées sont toxiques, mais cette plante existe déjà dans la région. Il n'y a donc pas d'augmentation du risque qui y est lié.

En conséquence, j'estime cette observation suffisante pour n'avoir pas besoin d'une évaluation plus précise des impacts sur la santé humaine.

Les indicateurs choisis ont donc les résultats suivants :

- Env5a : très favorable
- Env5b et Env5c : ne sont pas pertinents car aucune émission toxique supplémentaire n'est provoquée par le projet de Symbiose Industrielle. Ils prennent donc le résultat de l'indicateur Env5a.

7.4.7. Critère Env6 : Biodiversité

Une première évaluation très sommaire des éléments ayant une influence sur la biodiversité laisse penser que l'introduction de la culture de biomasse ne devrait pas diminuer la biodiversité mais pourrait contribuer à l'améliorer :

- Coupe de bois sauvage : aucune augmentation des coupes de bois n'est prévue. Mais un risque existe que les paysans coupent du bois pour le vendre sous forme de biomasse à l'entreprise.
- Nombre d'espèces cultivées : une augmentation du nombre d'essences cultivées est observée, ce qui permet d'améliorer la biodiversité.
- Modes de culture : les modes de culture employés permettent à une plus grande diversité d'espèces animales et végétales de vivre en équilibre. La structure du sol étant mieux protégée, elle permettra de garantir un habitat à un plus grand nombre d'espèces.

Par ailleurs, ne pas utiliser de LPFO permet de réduire les impacts au Sud du Nigéria sur la biodiversité, de manière relative. Comme nous l'avons vu, la vente du LPFO n'est pas le facteur limitant de la production pétrolière. En effet, le LPFO étant un sous-produit proche d'un déchet, il est produit de toute manière lors du raffinage du pétrole, indépendamment du fait qu'il soit acheté par Lafarge ou non. Ainsi, les impacts sur la biodiversité seront de manière absolue quand même provoqués, mais pourront être attribués à d'autres utilisateurs. Par conséquent, la biodiversité est globalement améliorée par l'introduction de la culture de biomasse.

Les deux indicateurs ne peuvent pour l'heure pas être calculés car les données n'existent pas. Nous pouvons donc estimer de manière qualitative que ce critère a un résultat globalement favorable. Les indicateurs choisis devront être évalués dès que des chiffres seront disponibles.

7.5. Présentation des résultats sous forme de tableau récapitulatif

Suite à l'analyse du cycle de vie "améliorée" des impacts environnementaux présentée ci-dessus, nous pouvons faire un bilan de l'ensemble des résultats. Le niveau de détail obtenu ne permet pas de représenter ces résultats sous la forme d'un histogramme. Par contre, il est bien plus intéressant de présenter les résultats sous la forme de tendances générales. Le tableau 7.3 présente l'évaluation générale des indicateurs économiques, socio-économiques et environnementaux, suite à l'introduction de la culture de biomasse pour la production d'énergie thermique pour la production de ciment. L'état de référence est l'utilisation de LPFO. La troisième colonne du tableau indique les risques ou les éléments qui pourraient faire évoluer, voire inverser cette tendance ainsi que les commentaires sur ces résultats.

Tableau 7.3 : Bilan des critères socio-économiques

Critères	Evaluation	Remarques
Critère E1 : Prix de l'énergie	++	L'entreprise est actuellement financièrement bénéficiaire du projet avec une certaine marge.
Critère E2 : Marché		
E2a : accès à un lieu de vente	+	Critère intrinsèque au projet. Il est positif par essence-même.
E2b : possibilité de négocier les prix	0	Un point faible actuellement. Un des partenaires (l'entreprise initiatrice du projet) a bien plus de pouvoir que l'autre (les paysans).
Critère E3 : Proportionnalité de la rémunération	0	Les paysans ne sont actuellement pas financièrement bénéficiaires du projet. Loin de dégager une marge trop importante, le prix trop bas de la biomasse les fait hésiter à participer au projet.
Critère E4 : Valoriser les activités agricoles	--	Ce critère est actuellement bas car il s'agit de la première année pilote. Il devrait s'améliorer les prochaines années avec l'augmentation du nombre de paysans concernés.
Critère S1 : Formation technique		
S1a : accès à la formation	++	L'organisation de la formation est actuellement très bonne. A réévaluer dans quelques années, suite à l'arrivée d'un grand nombre de nouveaux partenaires.
S1b : qualité de la formation	++	La formation et le suivi sont actuellement très bons. A réévaluer dans quelques années, suite à l'arrivée d'un grand nombre de nouveaux partenaires.
Critère S2 : Respect de l'organisation sociale locale	++	Une grande liberté est actuellement laissée aux paysans partenaires. Il est fort probable que ce critère évolue dans les prochaines années, suite à la participation d'un plus grand nombre de paysans au programme.
Critère S3 : Sécurité alimentaire		
S3a : autarcie alimentaire	+	L'introduction d'une nouvelle culture de rente permet de diminuer la pression potentielle sur les cultures alimentaires et d'augmenter la maîtrise du risque.
S3b : augmentation de l'autarcie alimentaire	+	Les premiers résultats montrent que les rendements des cultures vivrières n'ont pas diminué la première année et que certains ont même augmenté.

Critères	Evaluation	Remarques
Critère S4 : Associations d'agriculteurs		
S4a : nombre de paysans par association	0	Les associations actuelles seront certainement amenées à croître rapidement au cours des prochaines années avec l'agrandissement du projet.
S4b : nombre de réunions annuelles des associations	0	La création de statuts et de réunions régulières sera certainement liée à l'agrandissement des associations au cours des prochaines années.
Critère Env1 : Bilan CO₂	++	Les techniques agricoles employées permettent d'utiliser très peu d'énergies fossiles, qui sont responsables de la majorité des émissions de CO ₂ -equ. L'utilisation de machines agricoles ou d'intrants chimiques augmenterait ce bilan et rendrait la biomasse bien moins intéressante.
Critère Env2 : Bilan énergétique		
Env2a : pourcentage de réduction d'énergie primaire totale	++	L'énergie humaine utilisée est efficace. L'utilisation de machines agricoles pourrait augmenter la consommation d'énergie primaire, de même que l'utilisation d'intrants (pesticides ou fertilisants chimiques) ou l'irrigation.
Env2b : part d'énergie renouvelable dans l'augmentation	++	Il n'y a pas d'augmentation de la consommation d'énergie primaire totale.
Critère Env3 : Fertilité des sols	+	Des techniques agricoles inappropriées pourraient mettre en danger la fertilité des sols et la sécurité alimentaire. Les techniques employées actuellement ont pour but d'améliorer cette fertilité.
Critère Env4 : Ressources en eau	++	La consommation d'eau pourrait augmenter de manière importante si les cultures étaient irriguées. L'utilisation des techniques d'interculture et de cultures pérennes permettent d'améliorer la rétention de l'eau dans le sol et son utilisation par les plantes.
Critère Env5 : Santé humaine		
Env5a : substance toxique	++	Notons que les impacts sur la santé humaine pourraient augmenter si des pesticides étaient utilisés.
Env5b : toxicité	++	
Env5c : stratégie pour éviter la production de cette substance	++	
Critère Env6 : Biodiversité		
Env6a : Contrôle qualité de la biomasse	+	La biodiversité pourrait être menacée par l'utilisation de techniques inappropriées au contexte : monoculture, culture intensive et mécanisée,...
Env6b : biodiversité du sol	+	

Ce tableau permet d'identifier très rapidement les points faibles actuels du projet. Ainsi, les partenaires peuvent voir de concert les points à améliorer et les moyens à mettre en œuvre. Nous voyons que dans l'ensemble, le projet remplit les objectifs fixés pour la durabilité. En effet, les problèmes potentiels liés à la fertilité des sols, les questions de sécurité alimentaire, mais également les aspects liés à la formation technique ou à la diminution des effets de serre sont bien traités par le projet mis en place. Les questions de prix de la matière

échangée sont également réglées de manière positive pour l'entreprise, mais ce point pourra encore être amélioré par une plus grande consultation de la population sur les prix à pratiquer. En effet, les prix actuels ne sont pas totalement suffisants pour que les paysans soient réellement financièrement aussi bénéficiaires du projet. Tant que ceci ne sera pas réglé, il y aura toujours un risque que la population décide de ne plus participer au projet.

D'autres points pourront encore être améliorés, notamment le fait d'intégrer un plus grand nombre de paysans au projet. Ce point devrait être réglé dans les prochaines années. L'intégration d'un plus grand nombre de paysans permettra également d'améliorer les scores des critères concernant les associations de paysans.

7.6. Conclusion

J'ai illustré dans ce chapitre 7 l'utilisation de la méthodologie développée au chapitre précédent. J'ai montré comment cette évaluation semi-quantitative pouvait être réalisée.

L'ensemble des résultats environnementaux, sociaux et socio-économiques de l'étude de cas a été évalué selon le canevas proposé, ce qui a permis d'identifier les points faibles, mais également de voir que la majorité des résultats du projet sont positifs pour l'environnement et le développement régional. Les résultats de cette application montrent que le projet développé au nord du Nigéria par AshakaCem a été défini de manière à s'inscrire dans la durabilité. La majorité des critères évalués sont favorables. En particulier, tous les critères environnementaux sont favorables, signe que les problèmes potentiels ont été correctement pris en compte dans la définition du projet.

Les critères socio-économiques sont majoritairement favorables. Le thème des associations de paysans devra encore être vérifié ultérieurement, même si les moyens ont été définis pour garantir que ces associations soient efficaces et durables, et soient de bons interlocuteurs pour l'entreprise et de potentiels lieux d'échanges d'expériences entre paysans.

Les critères économiques sont également majoritairement favorables. Nous observons cependant que les questions financières ne sont pas encore abouties et qu'un travail est encore nécessaire pour que les différents partenaires obtiennent un bénéfice de cet échange.

Cette analyse permet d'envisager une potentielle reproduction de la Symbiose Agro-Industrielle mise en place au nord du Nigéria dans des contextes similaires. Ce thème important sera abordé au chapitre 8. L'entreprise devra cependant encore éclaircir les nombreux points liés à l'obtention de crédits carbone du MDP de Kyoto et développer une méthodologie propre au type de projet totalement nouveau qui a été développé.

7.7. Bibliographie

- Cleveland, C. J. and Costanza, R. (2006, 16 avril 2008). "*Energy return on investment (EROI)*." Encyclopedia of Earth Retrieved 20 juillet 2010, from http://www.eoearth.org/article/Energy_return_on_investment_%28EROI%29.
- Giraudy, F. (2010). *Producing biomass in the Funakaye LGA. Biomass Pilot Projet Annual report*, Lafarge & Eco-carbone: 50
- Hufty, A. (2001). Introduction à la climatologie: le rayonnement et la température, l'atmosphère, l'eau, le climat et l'activité humaine Saint-Nicolas (Québec), Canada, Presses Université Laval.

Chapitre 8

Implémentation de Symbioses Agro-Industrielles dans une perspective de durabilité

8.1 Introduction

Les Symbioses Agro-Industrielles ont montré un grand potentiel au travers de ce travail. L'entreprise qui met en place une telle stratégie y trouve de nombreux avantages, autant environnementaux que sociaux ou économiques. Mais une telle expérience est également intéressante dans une perspective plus large de développement rural. En effet, suite au constat d'échec des politiques de développement en Afrique de l'Ouest que j'ai présenté au chapitre 2, les Symbioses Agro-Industrielles peuvent être considérées comme un nouvel outil au service d'une stratégie régionale de développement rural.

C'est pourquoi, il peut être intéressant de pouvoir reproduire une telle expérience dans un contexte similaire, aussi bien pour l'entreprise Lafarge que pour d'autres entreprises et de manière plus large pour établir de nouveaux outils pour le développement rural.

Une perspective particulièrement intéressante serait le potentiel d'obtenir un financement à travers le Mécanisme de Développement Propre (MDP) du protocole de Kyoto, mécanisme mis en place pour lutter contre le réchauffement climatique et permettre un développement propre des régions du monde les moins développées.

De plus, les Symbioses Industrielles mises en place dans un tel esprit doivent pouvoir être évaluées sous l'angle de la durabilité. Le cadre méthodologique développé dans ce travail aux chapitres précédents est particulièrement adapté. Il a spécifiquement été utilisé pour développer une méthodologie d'évaluation pour le projet mis en place par Lafarge au Nigéria. Une part de cette méthodologie pourrait être réutilisée dans des situations similaires.

Dans ce chapitre, j'identifierai les éléments-clés du projet d'AshakaCem afin de pouvoir le reproduire dans un contexte adéquat. J'emprunterai en premier lieu le regard de l'entreprise pour ensuite traiter les perspectives de développement pour l'Afrique de l'Ouest. Je terminerai par le thème de la reproductibilité du cadre méthodologique et de la méthodologie d'évaluation de la durabilité qui a été développée aux chapitres précédents.

8.2 Reproductibilité des Symbioses Agro-Industrielles en Afrique de l'Ouest du point de vue de l'entreprise

L'expérience de Symbiose Agro-Industrielle en cours de réalisation à AshakaCem au Nigéria avait plusieurs objectifs :

- Réduire les émissions de gaz à effet de serre,
- Réduire la consommation d'énergie fossile et sécuriser l'approvisionnement énergétique,
- Sécuriser le périmètre opérationnel et régional de l'usine en initiant une stratégie de développement avec la population locale.

Au delà de ces objectifs spécifiques pour l'usine d'AshakaCem, Lafarge a un objectif plus large pour ce projet. Etant une expérience pilote, ce projet fait office de référence pour tout

projet similaire. Il y a donc une ambition d'en tirer une stratégie générale en vue de reproduire ce projet dans des situations similaires, et éviter les échecs potentiels.

Comme je l'ai montré, le bilan de la première année est positif, même s'il montre qu'une telle stratégie n'est pas simple à mettre en place. De nombreux doutes et freins restent à surmonter. Au niveau de l'entreprise, l'avenir du projet et ses orientations principales ne sont pas garantis. Au niveau de la population locale, un tel projet demande un changement de mentalité pour passer d'une relation d'assistance à une relation de partenariat.

Le projet n'étant pas encore en place totalement, mais seulement dans sa phase pilote, il n'est pas encore possible de donner une stratégie précise pour la reproduction de ce projet, permettant d'éviter tous les risques potentiels. Il est cependant possible de tirer quelques enseignements sur les freins à surmonter et les étapes-clés essentielles.

8.2.1 Un projet pilote

Le projet de Symbiose Industrielle à AshakaCem est une expérience pilote pour plusieurs raisons. En premier lieu, il s'agit pour une entreprise de l'industrie lourde de collaborer avec un partenaire non industriel. Cela pose de nombreux problèmes logistiques, de planification, de communication, d'information et d'organisation. La population locale n'est pas non plus habituée à traiter et négocier de manière contractuelle avec le monde industriel. C'est donc un apprentissage de connaissance mutuelle difficile, mais nécessaire, qui a dû être initié. Par ailleurs, le partenaire d'échange n'étant pas industriel, Lafarge a dû dans un premier temps assumer le développement logistique du projet pour les deux parties. De plus, le projet mis en place nécessite chez Lafarge des compétences d'agronomie ou d'ingénierie agricole qu'elle n'a pas en interne. Elle doit donc développer un nouveau langage de communication entre les personnes mandatées pour développer le projet et les ingénieurs industriels. Afin de ne pas créer un nouveau domaine de spécialisation interne, il a été choisi de créer une filiale qui ferait le lien entre AshakaCem et la population locale et gérerait à terme la planification et réalisation du projet.

Pour terminer, les cimentiers sont habitués à utiliser des déchets comme substituts à l'énergie fossile. Certains sont même parfois polluants. Ils permettent ainsi souvent de donner "bonne conscience" à leur partenaire et à eux-mêmes en éliminant un déchet problématique. Dans le projet en question, il ne s'agit pas d'éliminer un déchet polluant, mais bien une matière qu'il aura fallu produire localement, extraite d'un sol déjà pauvre et suffisant tout juste à nourrir la population locale. Il est donc a priori plus difficile de justifier environnementalement et socialement ce projet. Et c'est toute une stratégie qui a dû être mise en place pour que cet échange ait les effets positifs attendus sans menacer la sécurité alimentaire.

Il faut par ailleurs mentionner que Lafarge a l'intention de chercher à obtenir pour ce projet un financement du MDP. S'il l'obtient, ce projet pourra servir de référence pour de nombreux autres projets similaires. En effet, les cimentiers, largement surproducteurs de gaz à effets de serre doivent continuellement élargir leurs moyens de réduire ces émissions qui pèsent lourd dans leur budget.

8.2.2 Conditions pour une reproduction

Le projet de Symbiose Industrielle en cours de mise en place à AshakaCem est une solution très intéressante aux problèmes que rencontraient l'usine et la population locale. De nombreuses autres usines sont confrontées à des situations similaires et pourraient tirer des enseignements de cette expérience, en vue de la reproduire.

Afin de déterminer dans quels cas cette expérience pourrait être utilisée, je présente ici ses particularités et leur importance.

Contexte local et relation usine-population

Un des critères importants en vue de reproduire cette expérience est la relation qui lie l'usine et la population locale. Le contexte au nord du Nigéria est le suivant.

La population locale est rurale et peu développée. Elle manque de moyens d'investissement, mais également de marché pour écouler ses produits.

Dans ce contexte, un des facteurs limitant le développement d'un tel projet de Symbiose Industrielle est le manque de fertilité du sol et une production alimentaire locale inférieure ou tout juste égale aux besoins. De longue date, les relations entre l'usine et la population locale sont problématiques. Elles sont basées sur une assistance paternaliste qui n'a pas amené de réelle amélioration des conditions de vie de la population.

L'usine se trouve donc à un moment charnière de son histoire, où elle doit envisager de nouvelles solutions pour pouvoir préserver son activité.

Géographie

Le lieu où cette expérience se déroule a également son importance.

La Symbiose Industrielle se passe au nord du Nigéria, dans une zone très rurale et éloignée des grands axes de communication du pays, ainsi que des côtes océaniques. Il n'y a pas d'électricité ni d'eau courante dans les villages. Cette situation est très similaire au contexte géographique d'une grande partie de l'Afrique de l'Ouest rurale et continentale. Mais cela pourrait également être le cas d'autres régions du monde comme l'Inde ou la Chine par exemple.

Développement et histoire coloniale et postcoloniale

Comme je l'ai montré au chapitre 2, les diverses stratégies mises en place en Afrique pour développer ce continent n'ont pas abouti à une réelle amélioration du niveau de vie des populations.

L'histoire coloniale du Nigéria est liée au Royaume-Uni, contrairement à la majorité de l'Afrique de l'Ouest qui était liée à la France. De plus, le Nigéria, contrairement à la majorité des autres pays de la sous-région est très riche grâce au pétrole qu'il possède au sud du pays. Mais de manière similaire aux autres pays, il faut reconnaître que ces richesses ne sont pas ou très peu redistribuées à l'ensemble de la population. Malgré les grandes différences sur les méthodes et les stratégies de développement économique utilisées liées à l'histoire coloniale, je pense que ce facteur de géographie coloniale est peu important. Ce qui est important par contre est que la décolonisation n'était pour l'ensemble des pays de la sous-région qu'une décolonisation de façade. En effet, la France comme le Royaume-Uni ont gardé une grande influence sur l'économie de cette région en ayant des accords préférentiels pour certains produits par exemple.

Par ailleurs, l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest reçoit de l'aide au développement de la part des gouvernements industrialisés, et la présence des ONG de développement y est très forte. En conséquence, les populations rurales ont adopté un comportement d'assistés pour combler leurs besoins de base. Il est toujours difficile de déterminer quelle est la cause et quelle est la conséquence entre l'aide au développement et le besoin d'assistance. Le but n'est donc pas ici de remettre en cause l'aide au développement, mais bien de constater que l'état actuel ne permet pas une responsabilisation de la population à son propre développement. Le nord du Nigéria est par contre très pauvre en ONG, la situation instable du pays étant certainement un frein à leur présence. Cependant, le constat y est le même en ce qui concerne l'attente et besoin d'assistance de la population locale, qui sont ici comblés par l'usine d'AshakaCem.

Ainsi le contexte historique a poussé les populations locales à adopter une mentalité d'assistés. C'est un facteur limitant le succès d'un tel projet de Symbiose Industrielle, un des partenaires n'étant pas prêt à s'investir pour le mettre en place et nécessitant d'acquérir une certaine maturité à cet égard. Mais c'est également une des causes du problème, nécessitant un changement de mentalité et pour lequel un projet de Symbiose Industrielle peut se montrer très approprié!

Secteur industriel

Le secteur industriel ayant mis en place une Symbiose Industrielle avec sa population locale au nord du Nigéria est l'industrie cimentière. Cependant, les Symbioses Agro-Industrielles peuvent être adaptées pour tous les types d'industries ayant une taille suffisamment importante, ayant des flux importants et dont le remplacement d'un petit pourcentage d'un de ces flux est facilement réalisable du point de vue technique. Cela concerne par exemple le secteur minier, mais également la production de métal ou le secteur agro-alimentaire.

Peut-être que l'un des points importants dans la Symbiose Industrielle d'AshakaCem est la quantité substituée qui est de 10% et permet à l'entreprise d'avoir un risque limité. Ce petit pourcentage est une quantité inférieure à la limite technique qui est supportable par le procédé pour garantir la qualité du ciment produit, et au taux d'huile végétale que les

machines peuvent supporter. C'est également une quantité qui permet de rester dans le cercle d'influence régional de l'usine sans exploiter de manière trop importante les ressources en sol, ce qui évite de mettre la sécurité alimentaire en péril.

Type de Symbiose Industrielle envisagé

Le type de Symbiose Industrielle envisagée pour améliorer les relations entre l'entreprise et sa population locale est basé sur un produit que l'entreprise achète à la population locale. Il y a donc la création d'un flux matériel de la population à l'entreprise et la création d'un flux financier de l'entreprise à la population. Ceci permet de répondre à deux besoins :

- celui de l'entreprise qui a besoin d'un produit à brûler pour produire son ciment
- celui de la population locale qui a besoin d'argent liquide pour sa vie quotidienne.

Nous pouvons bien entendu imaginer qu'une Symbiose Industrielle puisse également avoir lieu dans l'autre sens et permette de répondre à d'autres besoins. En effet, si l'usine produit un déchet qui peut être par exemple réutilisé par la population locale pour fertiliser ses sols, cela permettra également de combler deux besoins : éliminer un déchet de la meilleure manière possible pour l'entreprise et combler le manque de fertilité des sols pour la population. Mais un tel échange, bien qu'environnementalement et socialement très intéressant, n'apporte pas l'avantage d'offrir une source de revenus à la population rurale.

8.2.3 Freins

La mise en place d'un tel projet est un processus qui prend du temps. En effet, c'est un tel changement de direction dans la gestion des relations entre une usine et sa population environnante qu'il ne peut pas être planifié et réalisé de manière rigide et rapide. C'est un processus qui est par essence adaptatif et dynamique.

Pensé et projeté dès 2007, une première année pilote a pu être lancée en 2009 avec un petit nombre de paysans. Durant ce temps, les objectifs et les moyens de réalisation ont déjà évolué et changé de nombreuses fois. Bien que voulu par les deux parties, ce projet a de grands risques de ne pas dépasser la phase pilote si certaines conditions ne sont pas remplies. Les risques proviennent autant de l'entreprise que de la population locale.

Freins au niveau de l'entreprise

Lafarge, de concert avec son usine d'AshakaCem a souhaité lancer ce projet de substitution énergétique. Le conseil d'administration d'AshakaCem est très positif à l'idée de ce projet. Cependant l'usine est elle-même déjà engagée dans plusieurs projets de grande envergure qui réquisitionnent toutes ses capacités d'investissement :

- Achat d'une mine de charbon à exploiter pour remplacer (dans l'idéal) la totalité du LPFO actuellement utilisé pour la production de chaleur et d'électricité,
- Rénovation d'une des deux tours de préchauffage, en cours depuis de nombreuses années et qui prend constamment du retard, certainement par manque de financement,

- Augmentation des capacités de production d'électricité, pour passer de 30% à 70% de l'électricité totale utilisée.

Il est ainsi périlleux pour AshakaCem de se lancer dans un nouveau projet et de nouveaux investissements. Pourtant, la nécessité de trouver une solution efficace au problème de la sécurité locale se fait toujours plus pressante. La volonté d'AshakaCem de réaliser malgré tout le projet sans avoir de gros investissements à faire est louable, mais faire les choses à moitié pourrait amener à l'échec du projet dans son ensemble.

En effet, dans un premier temps, il a été proposé d'utiliser de la biomasse dans une tour de préchauffage et de l'huile végétale dans les générateurs d'électricité.

Les générateurs étant trop vieux et pas adaptés à l'huile végétale, cette seconde partie du projet a temporairement été mise de côté.

Ensuite, l'utilisation de biomasse s'est avérée être plus difficile que prévu car le LPFO a entretemps été remplacé par du charbon dont le pouvoir calorifique (PCI) est inférieur à celui prévu. Le LPFO a un PCI d'environ 35 GJ/t alors que celui du charbon de cette mine est de 17 GJ/t. Le calcaire nécessite un carburant d'un PCI minimal de 22GJ/t pour pouvoir atteindre la température de 1400°C. Il est ainsi nécessaire de compléter l'utilisation de charbon par un carburant ayant un PCI plus élevé pour atteindre cette valeur minimale. La biomasse solide (herbes séchées et légumineuses) ayant un PCI de 15-16 GJ/t, il n'est alors plus possible de l'utiliser pour remplacer du charbon car elle abaisserait encore le PCI total. Par ailleurs, les travaux sur la tour de préchauffage ayant pris du retard, il n'y a pas de dispositif adéquat pour insérer de la biomasse solide. D'un autre côté, un nouveau générateur électrique pouvant supporter une part d'huile végétale a été acheté. En conséquence, l'utilisation de biomasse solide a été abandonnée et celle d'huile végétale à nouveau envisagée.

Dans tous ces changements, il a cependant pour l'instant toujours été prévu par AshakaCem de faire la promotion des techniques culturales mixtes intégrant la biomasse et les graines à huile et d'acheter les deux produits. En effet, les techniques d'interculture enseignées aux paysans ont pour objectif d'augmenter la fertilité des sols et de permettre une culture de rente complétant les cultures vivrières. Produire uniquement de la biomasse ou des graines à huile n'aurait pas l'effet attendu et remettrait en question la validité de l'ensemble du projet.

Cela montre bien que l'objectif d'une collaboration avec la population locale est bien présent, mais aux conditions fixées par AshakaCem. Bien que l'initiative de ce projet vienne de Lafarge, un changement de mentalité est encore nécessaire pour qu'il puisse réellement être réalisé. En ce sens, chaque partenaire doit se sentir réellement prêt à faire un pas vers l'autre, et à s'engager concrètement pour la réalisation du projet, ce qui nécessite un changement en profondeur et prend du temps.

Freins au niveau de la population locale

La population locale est très motivée par ce projet, et semble être consciente des nouvelles possibilités qu'il leur offre. Cependant, l'histoire de sa relation avec AshakaCem est basée sur l'assistance qu'elle reçoit de l'usine depuis plusieurs dizaines d'années. Il faut donc du

temps pour que la population puisse entrer dans ce nouveau type de relation partenariale et contractuelle, et qu'elle puisse y trouver son intérêt. Cela lui demande plus d'effort que l'assistance, mais lui offre certainement aussi de nouvelles perspectives.

Cette relation pacifiée entre les deux partenaires est possible, mais demandera des efforts d'adaptation des deux côtés.

Freins au niveau des pouvoirs publics

De manière générale, un projet de Symbiose Industrielle nécessite un cadre légal favorable. En effet, si les lois interdisent la vente de déchets par exemple, ou certains types de relations entre entreprises, cela peut être un frein difficile à surmonter pour la réalisation d'une Symbiose Industrielle.

Par ailleurs, les pouvoirs publics peuvent avoir un rôle à jouer dans la réalisation ou non d'une Symbiose Industrielle. Ils peuvent être une tierce partie organisant la contribution de la population locale ou exigeant le respect des intérêts généraux dans une perspective à plus long terme que ce que la population locale pourrait faire.

Mais s'ils peuvent être des facilitateurs, les pouvoirs publics peuvent également être des freins importants, notamment s'ils exigent une rétribution ou le paiement d'une taxe.

Il est donc important pour toute entreprise souhaitant mettre en place une Symbiose Industrielle avec la population locale qu'elle soit en contact avec les représentants locaux des pouvoirs publics et qu'elle soit au courant des lois concernant la gestion des déchets par exemple.

Dans le cas de la Symbiose Industrielle d'AshakaCem, les représentant locaux du pouvoir public ne jouent pas un rôle spécifique. Ils ont été avertis et consultés, mais n'ont pas souhaité être des acteurs ou participants du projet. Ils ne mettent pas de freins à sa réalisation non plus. Le cadre législatif n'a pas été exploré formellement, le terme de l'échange n'étant pas un déchet, mais un carburant.

Conditions minimales nécessaires à la répliquabilité

En résumé, pour que le projet d'AshakaCem puisse être reproduit dans un contexte similaire, plusieurs conditions minimales doivent être réunies :

- Faisabilité technique
 - Le pouvoir calorifique (PCI) du carburant substitué doit être suffisamment élevé pour supporter un carburant ayant un PCI de 15GJ/tonne.
 - Possibilité chimique et technique du procédé cimentier d'accepter un nouveau carburant
 - Possibilité technique d'adapter facilement et à moindre coût les équipements industriels pour introduire le nouveau carburant
- Volonté au sein de l'entreprise
 - Mentalité des cadres de l'entreprise, qu'ils soient prêts à collaborer avec la population locale

- Disponibilité et volonté pour lancer un nouveau projet qui demande un investissement financier, mais surtout humain
- Volonté au sein de la population locale
 - Accepter de ne plus être assistés, mais acteurs du changement
- Cadre légal et pouvoirs publics
 - Il faut un cadre légal favorable au type d'échange prévu
 - Il faut que le pouvoir public traditionnel et hiérarchique soit favorable au projet et ne cherche pas à en tirer son propre profit. Il faut donc une adhésion ou au moins acceptation par les chefs traditionnels et officiels.

8.2.4 Facteurs de succès

Au-delà des conditions minimales nécessaires, plusieurs éléments de la stratégie pour la mise en place du projet de Symbiose Industrielle d'AshakaCem participent à son succès. Ils peuvent être mentionnés comme éléments à reproduire dans le cas d'un projet similaire.

Compétences spécifiques et multiples

Un élément important est la prise de conscience dès le début du projet que celui-ci nécessite des compétences spécifiques qui ne se trouvent pas forcément au sein de l'entreprise. Les compétences qui peuvent manquer en particulier à l'entreprise pour développer un tel projet concernent l'agronomie, mais également la gestion de sa relation avec la population locale, puis la formation des paysans aux techniques appropriées.

Globalement, pour la mise en place d'un projet de développement lié aux concepts de Symbiose Agro-Industrielle, il faut plusieurs compétences (plusieurs compétences peuvent être apportées par une seule personne) :

- Un directeur de projet, quelqu'un qui a une bonne vision d'ensemble et qui identifie les échanges de matière possibles
- Un agronome qui connaisse bien le terrain agricole, les techniques, les cultures, etc. et puisse identifier les cultures adéquates, les moyens d'intégrer un nouveau flux de matière régional dans les cultures.
- Un médiateur, qui soit bien intégré dans la région, qui connaisse les modes de communication et modes de pouvoir et puisse faire le lien entre l'entreprise et la population locale.
- Une personne de l'industrie qui détermine les modifications industrielles nécessaires pour que l'échange puisse avoir lieu
- Une personne qui fasse le lien entre l'industrie et les paysans, qui organise l'animation/formation des paysans.
- Un évaluateur ou vérificateur externe, qui ait la confiance des différents partenaires et garantisse un suivi du projet et de ses objectifs.

Relation avec des partenaires multiples

Par ailleurs, l'entreprise doit également faire en sorte de créer un échange de matière avec un partenaire multiple et non organisé. C'est un problème car elle n'a pas un seul interlocuteur avec qui communiquer. L'autre problème qui est lié à ce partenaire multiple et non organisé est le fait qu'il n'y a pas un leader, ni une volonté de mettre en place un tel projet du côté de la population locale. Dans certains cas, le gouvernement local pourra faire office de relai entre la population et l'entreprise, mais ce n'est pas le cas pour l'usine d'AshakaCem. C'est donc à l'entreprise de gérer cette limitation.

Dans le but de gérer ce manque de compétences en interne, mais également son besoin de relation avec la population locale, l'entreprise a établi une stratégie en deux étapes. Dans un premier temps, elle a mandaté un agronome compétent pour délimiter le projet, identifier les besoins des deux partenaires et proposer un projet de collaboration. Dans un deuxième temps, il est prévu de créer une filiale indépendante qui gèrera la production agricole, l'enseignement des techniques, l'achat de la biomasse et sa transformation. Il s'agit d'une entité industrielle qui servira d'intermédiaire, ayant des compétences spécifiques et indépendante financièrement.

Volonté et conviction des partenaires. Définition des besoins

Pour qu'un tel projet puisse porter des fruits, il est nécessaire que les différents partenaires soient convaincus de l'intérêt de ce moyen de créer des relations entre eux basées sur la confiance. Il y a en premier lieu la nécessité d'une certaine volonté de l'entreprise d'avoir une attitude active pour améliorer ses relations avec la population locale et contribuer au développement local alors que ce n'est pas son travail.

Pour que le projet ait des résultats positifs, il est nécessaire d'établir une liste des besoins mutuels, et de déterminer ensemble comment un tel projet pourra les remplir. Chaque partenaire doit déterminer quels sont ses besoins. Dans le cas d'une usine souhaitant mettre en place un projet avec une population locale, comme c'est le cas à AshakaCem, la stratégie a été d'employer un agronome spécialiste de l'agriculture familiale en Afrique de l'Ouest, c'est-à-dire qui a une connaissance des besoins de ce type d'agriculture, dans ce climat et pour ce type de sol, et de faire une enquête auprès des associations de paysans ou de village existantes. Cette stratégie a permis d'éviter une consultation populaire globale qui aurait pris beaucoup de temps sans apporter de réponse plus complète, mais au contraire certainement de nombreux freins.

Transparence

La condition sine qua non du succès d'un tel projet est la transparence sur laquelle il doit être bâti. En effet, la transparence permet de garantir que ce qui est dit est fait et qu'il n'y a pas d'intention cachée. C'est la condition qui permet la création d'une relation de confiance entre les partenaires. Elle doit être clairement mentionnée dans les termes contractuels.

Il est bien clair qu'il n'est pas possible ni nécessaire d'exiger une transparence générale sur tous les tenants et les aboutissants. En effet, on ne peut pas considérer que tout être humain est honnête et bien intentionné. Cependant, tout être humain, pour arriver à ses fins doit mettre tous les atouts de son côté. Et pour qu'une relation de confiance, nécessaire à toute relation contractuelle, soit créée, une certaine honnêteté minimale est nécessaire. Le point central où une transparence est nécessaire dans une Symbiose concerne la relation d'échange, à savoir, le prix qui sera payé par kilogramme de biomasse.

8.2.5 Procédure générale

En conséquence, la procédure générale qu'une entreprise souhaitant établir un projet de Symbiose Industrielle et obtenir un succès devrait suivre, devrait contenir les éléments suivants :

- Une entreprise déterminée et convaincue de l'intérêt de la démarche, au niveau de sa Direction, mais également sur le terrain
- Une stratégie pour aborder le problème de manque de compétences interne
- Une stratégie pour gérer les relations entre l'entreprise et la population locale
- Une identification des besoins des différents partenaires
- Un contact avec les pouvoirs publics et une connaissance des documents législatifs potentiellement contraignants
- La transparence établie comme règle initiale à toute relation

8.3 *Symbioses Agro-Industrielles et développement*

8.3.1 Perspectives pour le développement régional

Contrairement à l'aide au développement en général, la création d'une Symbiose Agro-Industrielle avec la population locale nécessite un investissement actif de cette dernière. Il n'y a pas de don gratuit, mais uniquement des relations contractuelles.

Les Symbioses Industrielles sont bien sûr dépendantes de la présence d'une industrie importante. Elles permettent de créer une relation égalitaire entre l'industriel et la population. Un échange est créé et chacun des partenaires y a participé. Lors d'un don gratuit ou de l'aide internationale "désintéressée", le receveur donne en échange sa dignité. En effet, lorsque l'on reçoit sans pouvoir rendre ou rembourser, une dette morale est créée et celui qui est aidé se trouve dans une situation d'infériorité de pouvoir et de statut symbolique. Lors d'une Symbiose Industrielle au contraire, cette dignité est conservée.

Cependant, comme l'ont montrés les résultats de la première année, la mise en place d'une telle Symbiose Industrielle prend du temps. Le changement de mentalité peut prendre de nombreuses années. En effet, chacun des acteurs doit quitter sa position habituelle de leader ou de receveur, ce qui lui demande un investissement supplémentaire. Si au bout de quelques années ces positions d'équilibre ont évolué, c'est que la Symbiose Industrielle

commence à prendre. Si ce n'est pas le cas, cela signifie qu'il faut revoir le projet et l'envie des différents partenaires d'arriver à un nouveau consensus.

8.3.2 Les Symbioses Industrielles et le mécanisme de développement propre du protocole de Kyoto

Le protocole de Kyoto [ONU 1998] a établi en son article 12 un mécanisme en vue de lutter contre l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre (GES) sans limiter le développement des pays les moins avancés. Le Mécanisme de Développement Propre (MDP), permet aux pays en développement d'obtenir des financements contre preuve que le projet financé permet de réduire les émissions de GES par rapport à ce qui aurait été produit sans le projet. En contrepartie, les entreprises et pays finançant les projets peuvent atteindre leurs engagements de limitation des GES, car ils sont crédités des GES non-émis.

Cependant, ces financements peinent à atteindre l'Afrique. En effet, une demande de financement suit une procédure clairement définie pour chaque type de projet, qui requiert de très lourdes et coûteuses démarches administratives, et donc que l'investisseur aie les moyens d'avancer l'argent nécessaire. Ainsi seuls les projets de très grande envergure aboutissent, ce qui a jusqu'ici favorisé les projets des pays émergents d'Asie [Zuodar 2008]. Par ailleurs, les projets à "plus forte valeur ajoutée" permettant de réduire des émissions de GES plus nocifs que le CO₂, comme les HFC par exemple, sont largement favorisés par les gestionnaires du MDP.

Pourtant, ces financements étaient initialement prévu pour éviter une industrialisation polluante. Or, l'Asie est déjà largement industrialisée, avec tous les problèmes environnementaux que l'on connaît. L'Afrique et l'Amérique du Sud sont, elles, globalement très peu industrialisées et de tels financement pourraient leur permettre une industrialisation propre [N'Guessan M'Gbra *et al.* 2008]. Cependant, les moyens financiers qu'elles ont au départ sont souvent insuffisants et la taille des projets trop petite pour obtenir cette manne.

Les Symbioses Industrielles telles qu'envisagées dans cette thèse offrent de nouvelles perspectives en vue d'obtenir des financements MDP. En effet, il n'existe pas actuellement de procédure spécifique adaptée à un tel type de projet [McQuillan 2009] et l'expérience d'AshakaCem pourrait servir de modèle et de précédent. Les Symbioses Industrielles proposent un nouveau mode de gestion de projet. Il y a donc clairement un potentiel lié à ce type de projet pour attirer ces financements vers l'Afrique.

8.4 *Reproductibilité du cadre méthodologique d'évaluation de la durabilité et de la méthodologie*

Il pourrait également être très intéressant de reproduire le cadre méthodologique et la méthodologie d'évaluation de la durabilité développés aux chapitres précédents, pour l'utiliser dans un contexte similaire.

Après avoir suivi pas à pas l'établissement de cette méthodologie d'évaluation, nous convenons facilement que les critères et indicateurs développés sont spécifiques au projet d'AshakaCem et ne peuvent en cela pas à être réutilisés tels quels pour d'autres projets. Par contre, si la méthodologie d'évaluation elle-même ne peut pas être réutilisée, en revanche le cadre méthodologique qui a permis de définir la méthodologie peut aisément être réutilisé. Cette stratégie suit de manière assez précise les étapes de mise en place d'un projet de Symbiose Industrielle, et peut même inspirer les dirigeants pour l'utilisation de méthodes participatives.

8.4.1 Reproduction du cadre méthodologique

Ce cadre méthodologique a été décrit au chapitre 6 et se réalise de manière itérative en six étapes. La figure 8.1 illustre ces six étapes.

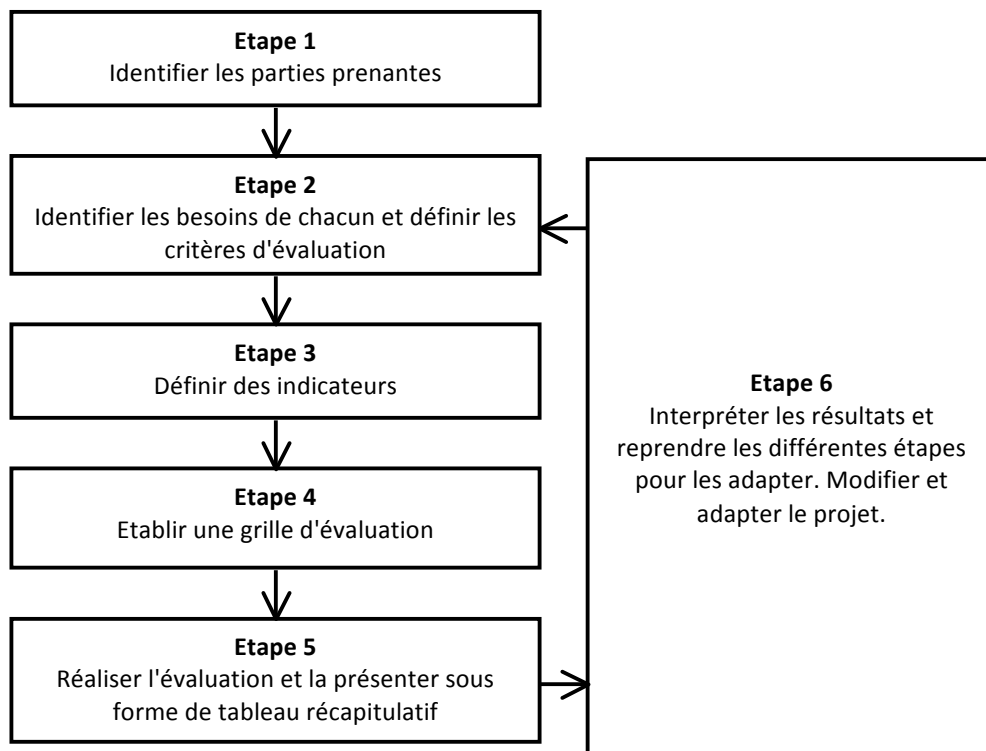


Figure 8.1: Etapes pour l'établissement d'une méthodologie d'évaluation de la durabilité propre à un projet de Symbiose Industrielle

Cette stratégie à six étapes a pour but de définir les critères et indicateurs pour évaluer la durabilité d'un projet de manière participative. En effet, la participation des différents acteurs est nécessaire à garantir une prise en compte des besoins de chacun. Cette participation peut se faire de différentes manières, suivant le contexte culturel. Ainsi en Europe par exemple, on créera une table ronde où les différents partenaires ou leurs représentants sont invités. Dans le contexte culturel du nord du Nigéria, cette consultation des besoins des différents partenaires passe plutôt par des enquêtes sur le terrain et

l'utilisation d'une phase pilote à très petite échelle avec un suivi suffisamment proche pour identifier dès les premières phases les problèmes rencontrés.

Dans un contexte similaire en Afrique de l'Ouest, c'est certainement cette seconde manière de faire qui serait la plus adaptée.

La prise en compte des besoins des différentes parties prenantes est la condition pour que la méthodologie donne des résultats cohérents. En effet, ce processus d'évaluation étant volontaire, il ne suit pas une norme fixe, ni des indicateurs fixes. Cet outil d'évaluation a pour but d'améliorer un projet dans le but d'atteindre un certain niveau de durabilité. C'est pourquoi, seule la participation des différentes parties prenantes peut garantir de ne pas passer à côté d'aspects importants, qui pourrait à terme être fatals au projet lui-même s'ils ne sont pas pris en compte.

8.4.2 Réutilisation des critères d'évaluation et indicateurs

Comme nous l'avons vu, les critères d'évaluation et indicateurs choisis sont spécifiques au projet évalué. Ils ne peuvent donc pas être réutilisés tels quels pour un autre projet.

Nous pouvons cependant s'inspirer des besoins, critères et indicateurs définis pour le projet d'AshakaCem et les utiliser comme exemples pour un autre projet. Ceux-ci dépendent directement de la définition du projet, si celle-ci est faite correctement et de manière participative.

Pour les critères environnementaux, qui sont moins liés aux besoins des parties prenantes, et correspondent plus aux problèmes environnementaux locaux et globaux à prendre en compte, nous pouvons nous inspirer des catégories d'impacts définies dans les méthodes d'Analyse du Cycle de Vie. Sur la base de ces critères et indicateurs choisis, des grilles d'évaluation spécifiques devront encore être définies.

En général, nous pourrions également largement nous inspirer des catégories environnementales définies dans le projet d'AshakaCem, mais en intégrant des catégories relatives aux problèmes environnementaux régionaux spécifiques.

8.5 Conclusions

J'ai montré dans ce travail que les Symbioses Agro-Industrielles sont très intéressantes autant du point de vue d'une entreprise qui souhaite établir de nouvelles relations sociales avec la population locale, que du point de vue du potentiel qu'elles apportent pour le développement régional.

Cependant, leur mise en place n'est pas simple et nécessite un changement de mentalité en profondeur de la part des différents partenaires. Un facteur important que cette analyse a révélé est la nécessité d'une transparence des termes de l'échange, qui permet la création d'une relation de confiance. Dans un monde obnubilé par la nécessité de résultats à court terme, l'établissement d'une Symbiose Agro-Industrielle impose un rythme nouveau et plus

respectueux des rythmes humains. Un changement de mentalité ne s'opère pas en quelques mois mais en plusieurs années. Cependant, c'est également à cette échelle de temps que l'on obtient des résultats durables et des changements plus profonds.

La méthodologie d'évaluation de la durabilité développée suit elle aussi un cadre méthodologique qui est réutilisable. Bien que les critères d'évaluation soient propres au projet mis en place, la stratégie utilisée est elle répliquable et peut servir d'exemple à de nombreux autres projets similaires.

8.6 Bibliographie

McQuillan, R. (2009). *Personal communication. Email: Follow up indicators for Ashaka project, 11.6.09.* Lausanne

N'Guessan M'Gbra, D., Seone, H. and Tiendrebeogo, M. (2008). *Evaluation du potentiel MDP du Burkina Faso.* Ouagadougou, PNUD et Ministère de l'environnement et du cadre de vie: 37

ONU (1998). *Protocole de Kyoto à la convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques.* Kyoto, Japon, Organisation des Nations Unies: 24

Zuodar, N. (2008). *Mécanisme de Développement Propre (MDP) et Ecologie Industrielle (EI) : enjeux communs, une source de financement pertinente, une visibilité accrue?* Lausanne, ICAST: 17

Chapitre 9

Conclusions et perspectives

9.1. Introduction

Dans le contexte du développement durable et de son application dans les pays en développement, j'ai formulé dans cette thèse plusieurs questions de recherche et proposé une approche méthodologique pour les résoudre.

Ces questions se sont articulées autour de deux thèmes principaux. Tout d'abord, je me suis intéressée au potentiel des Symbioses Industrielles comme outil permettant le développement rural en Afrique de l'Ouest. J'ai ensuite abordé la nécessité d'évaluer les résultats des Symbioses Industrielles mises en place et j'ai proposé un cadre méthodologique adapté.

Les questions qui ont guidé cette recherche sont les suivantes :

1. Comment stimuler un développement régional profond et durable dans le contexte d'une région rurale en Afrique de l'Ouest? Les Symbioses Industrielles permettent-elles d'y contribuer? Faut-il adapter cette approche au monde agro-industriel spécifique à l'Afrique de l'Ouest? Quels sont les freins et les opportunités d'une telle approche?
2. Comment évaluer la pertinence environnementale d'une Symbiose Agro-Industrielle?
3. Doit-on construire un référentiel de durabilité adapté au contexte traité dans cette thèse?

Dans ce dernier chapitre, je résume tout d'abord les résultats principaux de cette thèse. Je montre ensuite comment ceux-ci pourront être utilisés pour continuer la recherche et faire avancer la connaissance. Je termine par une conclusion générale.

9.2. Résultats principaux de la thèse

9.2.1. Quels sont les enjeux et perspectives liés à la mise en place d'une Symbiose Agro-Industrielle en Afrique de l'Ouest?

Les concepts d'Ecologie Industrielle et de Symbiose Industrielle ont déjà été utilisés dans les pays en développement, plus particulièrement en Asie, dans les pays que l'on dit émergents. Comme je l'ai montré au chapitre 3, l'Ecologie Industrielle a surtout été utilisée comme moyen pour planifier un développement industriel "propre". En effet, elle permet de tenir compte de l'environnement sans faire peser de nouvelles charges financières sur les entreprises, au contraire elle leur donne le moyen de faire des économies. Cette approche très intéressante pour les pays en développement a abouti à quelques succès mais également à de nombreux échecs. Nous remarquons que ces échecs sont souvent causés par une utilisation uniquement technique de l'approche éco-industrielle, laissant de côté l'ensemble des aspects culturels et sociaux spécifiques. Etant au départ une vision à but holistique, l'utilisation des concepts de l'Ecologie Industrielle est ainsi souvent résumée à une stratégie technique, ce qui lui fait manquer son but principal.

Ce travail de thèse a permis de montrer que, bien plus qu'une stratégie technique pour rendre l'environnement financièrement abordable, l'Ecologie Industrielle peut être un moyen de

prendre en compte la dimension humaine des processus industriels et de la replacer au centre d'une stratégie régionale de développement.

Mais ce n'est pas une recette miracle. La mise en place d'une Symbiose Industrielle nécessite des changements importants dans les relations entre les partenaires et pour chacun des partenaires. Les êtres humains prennent du temps pour évoluer, et c'est donc à long terme qu'il faut évaluer les résultats obtenus.

Notre observation a montré que les populations rurales d'Afrique de l'Ouest ont relativement peu d'alternatives pour élever leur niveau de vie. En effet, l'aide au développement n'y atteint pas les objectifs planifiés pour plusieurs raisons. Une partie des blocages se situe au niveau des gouvernements qui n'ont pas de réels projets pour le développement économique de leur pays, comme je l'ai montré au chapitre 2. Une autre partie des blocages se situe au niveau de la mentalité des populations rurales, qui attendent le développement venant de l'extérieur comme un dû, une réparation des humiliations subies lors de la colonisation¹. Pourtant, nous le savons, il n'est pas possible de développer quelqu'un ou une population sans son investissement et sa participation. Le développement est un changement. Et pour être effectif, ce changement doit être vécu de l'intérieur par ceux qui en profitent. Pour les populations défavorisées, cela nécessite d'accepter d'abandonner leur requête d'assistance pour devenir des acteurs à part entière. Pour les entreprises, cela implique d'accepter de traiter avec un acteur qu'elles préféreraient ignorer jusque là.

Le bilan de cette analyse une année après la mise en place de la Symbiose d'AshakaCem indique que la Symbiose Industrielle est un processus qui nécessite une volonté de part et d'autre d'établir une relation contractuelle entre les partenaires. Le changement de perspective que nécessite la mise en place d'une Symbiose Industrielle entre une entreprise et une population est bien plus important que pour une Symbiose Industrielle entre deux entreprises. Mais les résultats sociaux que l'on peut obtenir de cet échange sont d'autant plus positifs.

Plusieurs points-clés ont été identifiés comme nécessaires à la réussite d'une Symbiose Agro-Industrielle en Afrique de l'Ouest. Celui que je voudrais faire ressortir ici est la nécessité de transparence. En effet, pour qu'une relation de confiance puisse s'établir entre les partenaires, la transparence est nécessaire, en particulier dans les termes des contrats d'échange. Il serait ambitieux et naïf d'exiger une transparence totale, dans un milieu culturel où l'informel est la règle, et où la corruption fait partie des modes reconnus pour obtenir ce que l'on veut. Cependant, lorsque la méfiance est établie, même entre amis et à l'intérieur d'une famille, il faut une réelle volonté pour re-créeer un climat de confiance. Et le point le plus important pour qu'une Symbiose Industrielle puisse être réalisée est la transparence sur les termes de l'échange, ainsi que le respect et la réalisation des engagements pris.

¹ voir à ce sujet [Ziegler 2008] : Ziegler, J. (2008). La haine de l'Occident. 300p Paris, Editions Albin Michel.

9.2.2. Comment évaluer les impacts environnementaux d'une Symbiose Industrielle dans un pays en développement?

La mise en place d'une Symbiose Agro-Industrielle dans un contexte où l'environnement est très fragile et largement mis à contribution nécessite que les impacts environnementaux provoqués par la Symbiose soient évalués et suivis. Cette question de l'évaluation des impacts environnementaux est également de plus en plus importante dans les pays industrialisés, et des outils adéquats ont été développés.

L'Analyse du Cycle de Vie est en ce sens un outil très performant et largement reconnu. Comme les Symbioses Industrielles, il offre une perspective holistique qui garantit une prise en compte de tous les aspects importants du projet à évaluer. C'est pourquoi cet outil a été choisi.

Cependant, comme nous l'avons vu aux chapitres 5 et 6, son utilisation dans les pays en développement rencontre de nombreux problèmes pratiques et conceptuels. Pour identifier la source de ces problèmes, j'ai cherché à comprendre les fondements de cet outil et de l'analyse des impacts environnementaux, dont voici un résumé.

L'environnement comme cadre nécessaire à la vie humaine

Lorsque l'on met en place un projet dans un pays industrialisé, en Europe par exemple, il est devenu de plus en plus courant d'évaluer spécifiquement les impacts environnementaux.

Nous considérons souvent sans le formuler que les autres aspects importants de la durabilité que le projet pourrait influencer ont déjà été pris en compte et négociés par les différents partenaires et acteurs dans la définition du projet (principalement les questions économiques) ou sont garantis par la société civile (les aspects sociaux ou institutionnels notamment). En effet, dans une société démocratique, chaque acteur pouvant être influencé par un projet est théoriquement en mesure de faire respecter ses intérêts. Nous reconnaissons ainsi par exemple que le progrès social qui a eu lieu depuis les années 1850 a permis de mettre en place une structure sociale et économique minimale (assurances sociales de base, développement de la démocratie et respect des droits humains) suffisamment solide pour être un cadre de protection de la vie humaine. Nous reconnaissons également que la Nature fait partie de ce cadre nécessaire, mais que sa gestion n'a en revanche pas encore acquis une structure minimale pour garantir sa durabilité.

L'évaluation des impacts environnementaux est une manière de reconnaître qu'un des "acteurs", la Nature ou l'environnement, n'est pas en mesure de défendre lui-même ses intérêts. De plus, nous reconnaissons que l'être humain a indirectement aussi intérêt à protéger cette Nature, qui représente sa biosphère, l'élément dont il tire sa vie. Ce ne sont donc en général pas les impacts environnementaux dans l'absolu que l'on évalue, mais bien les impacts sur les fonctions de l'environnement qui sont utiles à l'être humain. En effet, le choix des indicateurs environnementaux à évaluer reflète généralement le contexte climatique, socio-économique et culturel dans lequel l'évaluation doit avoir lieu.

Environnement et structure sociale

Pour le projet qui a lieu au Nigéria, comme pour d'autres projets dans les pays en développement, nous appliquons ce que nous connaissons. Nous cherchons à évaluer les impacts environnementaux afin de justifier la durabilité du projet en question, et de garantir la protection de la Nature, source de la vie humaine. Mais ce que nous oublions ou ignorons en agissant ainsi, c'est que les conditions de base sont bien différentes que dans les pays industrialisés, et qu'il ne suffit pas que la Nature soit protégée pour que la vie humaine soit protégée.

L'usage de la démocratie est bien différent, et les différents acteurs n'ont en général pas l'habitude ni les moyens de faire respecter leurs intérêts. Par ailleurs, le cadre social est bien différent. En effet, il n'y a dans ces pays aucune sécurité sociale, ni garantie d'accès à un réseau de soins. Les services de l'Etat à la population sont généralement très réduits : infrastructures routières, sanitaires et énergétiques minimales voire inexistantes, peu d'accès à la scolarité et à la formation professionnelle, système de santé et subventions à l'agriculture minimales, etc. Ainsi la population ne peut pas s'appuyer sur un système social durable. C'est à chacun, en tant que personne, famille ou collectivité de créer son propre soutien social à la vie. Ceci n'étant pas garanti, l'introduction d'un nouveau projet peut avoir des conséquences sur ce système social minimal et sur les stratégies individuelles mises en place pour préserver la vie.

Dans un tel contexte, les impacts environnementaux sont difficilement séparables d'autres types d'impacts que l'on pourrait appeler économiques, sociaux ou culturels. Le cloisonnement de ces types d'évaluation n'est pas possible dans le contexte d'un pays en développement. Les outils existants ne peuvent donc pas être utilisés tels quels, avec l'esprit dans lequel ils ont été conçus. Les résultats qu'ils permettent d'obtenir ne sont pas totalement adéquats et partiellement coupés de la réalité.

Une analyse des impacts environnementaux nécessaire

Cependant, lorsqu'une entreprise a son siège en Europe et qu'elle possède des implantations dans les pays en développement, il arrive couramment qu'elle doive respecter des normes, standards et modes de communication fixés au Nord. Ainsi, bien qu'une évaluation uniquement environnementale ne soit pas adaptée au contexte d'un pays en développement, c'est pourtant les résultats d'une telle étude qui seront nécessaires pour justifier aux yeux de la communauté internationale le projet mis en place.

Nous pouvons estimer qu'en réalisant une évaluation environnementale comme elle serait faite au Nord, nous manquons notre cible. Mais d'un autre côté en ne le faisant pas, nous manquons également la cible. En effet, malgré l'importance des faiblesses sociales et économiques à combler, l'environnement et la Nature doivent d'autant plus être protégés car ils sont soumis à la très forte pression de l'être humain qui lutte pour sa survie. Ainsi, si une entreprise, en mettant en place un nouveau projet exerce une pression supplémentaire sur cet environnement source de vie, la vie humaine pourrait être menacée par l'épuisement des ressources nutritives, mais également par les tensions sociales découlant d'une telle pénurie.

Il est donc nécessaire d'évaluer les impacts environnementaux, et d'inclure cette évaluation dans une analyse plus large de la durabilité.

De l'évaluation des impacts environnementaux à l'évaluation de la durabilité

Dans ce contexte, le système de valeurs qui serait adapté à l'évaluation des impacts environnementaux devrait inclure non seulement les catégories d'impacts qui considèrent la nature et l'environnement comme nécessaires à la vie humaine, mais également celles qui considèrent la vie humaine dans sa perception sociale et économique. Nous convenons aisément que ces fonctions de la nature peuvent être différentes suivant le lieu géographique et le contexte climatique.

Choix d'un outil

Ainsi, j'ai montré que l'Analyse du Cycle de Vie est un outil approprié pour une évaluation dans un pays en développement, mais qui nécessite des adaptations importantes :

- **Concept holistique, cycle de vie** : Dans sa manière d'étudier un produit ou un service sur l'ensemble du cycle de vie, l'ACV est parfaitement adaptée aux besoins des pays en développement. Ainsi la définition des objectifs, du système et de ses limites est appropriée, mais doit être faite dans une vision plus large que l'environnement tel que nous le percevons en Europe.
- **Evaluation** : L'évaluation à proprement parler n'est, elle, pas directement appropriée. Plusieurs éléments ne sont pas adaptés. Comme je l'ai montré plus haut, une évaluation environnementale dans les pays en développement doit inclure les dimensions sociales et économiques de l'homme, ce qui n'est pas le cas de cet outil. Par ailleurs, l'évaluation environnementale elle-même pose problème. Les données de qualité manquent et les moyens de les évaluer (catégories d'impact) ne sont pas adaptés au contexte spécifique.

En conclusion, je réponds à la question de l'évaluation des impacts environnementaux d'une Symbiose Industrielle dans un pays en développement de la manière suivante : une évaluation environnementale est possible et nécessaire dans les pays en voie de développement. Mais dans ce contexte-là, l'environnement englobe une vision plus large et inclut les dimensions sociale et économique de l'homme. La méthodologie utilisée doit donc permettre une évaluation sociale et économique conjointement à l'évaluation environnementale. Plus précisément, ce n'est pas une analyse environnementale qui doit s'élargir à quelques indicateurs socio-économiques qu'elle adapte à son mode d'évaluation, mais un nouveau mode d'évaluation qui doit être formulé. Celui-ci doit permettre une évaluation de la durabilité, avec un volet propre aux aspects environnementaux eux-mêmes. Il doit définir un référentiel d'évaluation, des critères, des indicateurs, une hiérarchisation des critères et une échelle d'évaluation qui permette de les comparer.

9.2.3. Quelle méthodologie utiliser pour évaluer la durabilité d'un projet de Symbiose Industrielle?

Méthodologie

L'évaluation des résultats de l'Analyse du Cycle de Vie appliquée de manière brute nous a permis de constater un certain nombre de limites de cet outil. Cependant, son utilisation n'est pas remise en cause car les bases qui le forment sont appropriées. C'est pourquoi j'ai développé un cadre méthodologique générique pour établir une méthodologie d'évaluation propre à chaque projet. Les points-clé de celui-ci sont les suivants :

- L'évaluation doit idéalement être réalisée par des représentants des différentes parties prenantes, ou par un intervenant externe sans parti pris.
- Les objectifs environnementaux, sociaux et économiques du projet et de l'évaluation doivent être définis en commun par cette délégation. Ces objectifs servent à définir des critères d'évaluation et des indicateurs. Une hiérarchisation des objectifs/critères permet de différencier ceux qui sont prioritaires, qui doivent nécessairement avoir un résultat positif pour que le projet puisse être réalisé, de ceux qui sont secondaires mais tout de même importants.
- Les résultats seront obtenus par une évaluation semi-quantitative de ces indicateurs, basée sur une échelle de valeur propre à chacun d'eux et qui permet de juger l'adéquation et la qualité du projet et d'améliorer les points nécessaires.

Cette méthodologie permet d'avoir une évaluation au plus près des besoins du projet, mais également au plus près de la réalité. Elle s'inscrit totalement dans la logique participative du projet mis en place et devrait renforcer les liens entre l'entreprise et la population locale. Par ailleurs, les résultats et leur présentation très visuelle permettent d'identifier très rapidement les améliorations possibles ou nécessaires.

L'originalité de cette thèse réside donc dans les points suivants :

1. Je montre qu'une évaluation de projet dans les pays en développement ne peut pas se résumer à une évaluation environnementale comme cela se fait par une ACV classique, mais doit inclure les trois piliers du développement durable.
2. Je montre que les indicateurs choisis doivent être spécifiques à chaque projet.
3. L'outil que je propose permet d'aller plus loin que les outils actuels d'évaluation de l'environnement ou de la durabilité. Il définit un cadre méthodologique générique en 6 étapes, pour définir une méthodologie d'évaluation propre à chaque projet.
4. Cette méthodologie doit être établie en concertation avec les parties prenantes, et permet d'avoir une évaluation semi-quantitative dont l'échelle est identique pour chaque indicateur.

La méthodologie d'évaluation est donc propre à chaque projet. Les critères et indicateurs développés pour le projet d'AshakaCem peuvent cependant servir d'exemple à d'autres projets similaires.

Résultats

Cette méthodologie a été utilisée pour évaluer le projet d'AshakaCem. Les résultats montrent que la définition du projet permet d'atteindre les objectifs environnementaux principaux. Cette dimension a donc bien été prise en compte. Les objectifs économiques et socio-économiques sont pour la plupart proches d'être atteints, certains nécessitant encore un travail sur le long terme pour être remplis. Le projet d'AshakaCem a donc été clairement défini pour atteindre les objectifs fixés. Malgré les difficultés du quotidien pour mettre en place un tel projet, l'évaluation montre qu'il est sur la bonne voie pour améliorer aussi bien les conditions environnementales locales et globales, que les conditions de vie de la population locale, l'approvisionnement énergétique de l'entreprise et les relations entre ces deux partenaires.

Limites

L'outil proposé dans cette thèse est donc bien un cadre méthodologique, et non pas une méthodologie d'évaluation. Ce cadre méthodologique générique est très performant pour définir des méthodologies d'évaluation spécifiques à chaque projet. En effet, chaque projet mis en place nécessite la définition de critères et d'indicateurs spécifiques, correspondants aux besoins et objectifs, mais également à la compréhension culturelle locale. Les critères développés dans le projet d'AshakaCem peuvent par ailleurs servir d'exemple à d'autres projets similaires.

Pour l'évaluation environnementale à proprement parler, les outils existants tels que les catégories d'impacts des méthodes d'ACV peuvent être très utiles pour obtenir une information, tout en précisant que les résultats obtenus peuvent être éloignés de la réalité. Les résultats obtenus doivent être évalués selon une échelle de valeur indiquant le degré d'atteinte de l'objectif fixé.

9.3. Perspectives

9.3.1. Les Symbioses Industrielles comme outil de développement

Dans ce travail, j'ai posé les bases et identifié les points-clés liés à l'utilisation de Symbioses Agro-Industrielles en vue de créer une relation de confiance entre une entreprise et la population locale. J'ai montré que les Symbioses Industrielles peuvent être un outil très puissant dans les pays en développement, pas seulement pour réduire les impacts environnementaux mais également pour créer une dynamique de développement économique rural.

Plusieurs thèmes de recherche pourraient poursuivre ce travail en utilisant le concept de Symbioses Industrielles comme outil de développement.

Généralisation des perspectives des Symbioses Agro-Industrielles dans les pays en développement

Le premier thème serait de mettre en place et d'étudier sous l'angle socio-économique d'autres Symbioses Agro-Industrielles, dans un contexte similaire, afin de dresser un tableau plus complet et plus précis des besoins, des risques et surtout des étapes-clé pour une mise en place réussie. Ceci permettrait de confirmer les observations faites sur la Symbiose d'AshakaCem, mais également de les généraliser pour le contexte de régions rurales d'Afrique de l'Ouest, voire de pays en développement.

Perspectives sociales des Symbioses pour les pays industrialisés

Le deuxième thème de recherche serait d'utiliser les observations faites sur l'apport socio-économique régional des Symbioses Agro-Industrielles en Afrique de l'Ouest, et d'identifier sous quelles conditions ces observations s'appliqueraient aux pays industrialisés. En effet, l'Ecologie Industrielle est surtout utilisée comme une approche technique holistique qui permet d'intégrer les questions environnementales et idéalement de réduire les impacts environnementaux et l'épuisement des ressources. Les sociétés industrialisées prennent petit à petit conscience que les effets des Symbioses Industrielles ne sont pas seulement environnementaux. L'expérience des pays en développement pourrait être instructive pour une meilleure compréhension des enjeux et potentiels dans tous les contextes. En effet, les pays industrialisés ont eux aussi besoin d'outils pour créer des liens sociaux entre les milieux économiques et citoyens.

Suivi du projet d'AshakaCem

Il serait également intéressant et nécessaire de continuer à suivre de près le projet mis en place à AshakaCem, afin de connaître l'évolution de celui-ci et l'influence des décisions qui ont été prises. Cela permettra de confirmer ou d'infirmer les observations faites au début du processus mis en place.

9.3.2. Adaptation de l'Analyse du Cycle de Vie au contexte des pays en développement

Dans la deuxième partie de ce travail, j'ai abordé la question de l'évaluation des Symbioses Agro-Industrielles mises en place et ai évalué l'utilisation de l'Analyse du Cycle de Vie à cet effet. J'ai montré que l'ACV avait de nombreuses limites pour une utilisation dans les pays en développement. Cet outil m'a en partie servi de base pour développer un cadre méthodologique et définir une méthodologie en vue de l'évaluation de projets dans les pays en développement.

De nombreux éléments ont été abordés, mais plusieurs questions et problèmes n'ont pas encore trouvé de réponse. Malgré ces limites, l'ACV va continuer de se diffuser et d'être utilisée dans ces contextes extrêmes, car il y a un réel besoin d'être en mesure d'évaluer les impacts environnementaux de manière intégrée.

C'est pourquoi mes propositions de recherche pour l'ACV sont les suivantes.

Energie humaine et animale

Dans les contextes où l'accès à l'énergie fossile et aux divers carburants est limité, les travaux sont souvent réalisés en utilisant la force humaine ou animale qui, elle, est disponible. La comptabilisation de cette énergie est donc nécessaire lorsqu'on réalise une ACV.

J'ai effectué dans ce travail une première tentative de quantifier cette énergie. La recherche en ACV pour les pays en développement devrait maintenant chercher à approfondir ce thème et identifier plus clairement comment cette énergie peut être comptabilisée : sous forme de base de données génériques, par mesure ou détermination spécifique au cas par cas.

Il faudra également arriver à un consensus pour identifier où s'arrête la notion d'énergie primaire pour ce type d'énergie : est-ce l'énergie déployée par la force humaine ou animale, ou est-ce l'énergie primaire contenue dans les aliments consommés pour déployer cette énergie? J'ai choisi la première option dans ce travail, mais ceci doit maintenant être discuté plus profondément au sein de la communauté scientifique.

Il est également important de déterminer dans quel contexte la comptabilisation de cette énergie est appropriée et nécessaire.

ACV conséquentielles

Comme je l'ai mentionné brièvement dans ce travail, l'utilisation des ACV conséquentielles a tout son sens en Afrique de l'Ouest et dans les pays en développement en général. Cette stratégie permet d'inclure dans l'analyse les conséquences de l'introduction d'un nouveau produit ou projet sur le système lui-même ou sur le comportement des consommateurs.

Un axe de recherche que j'identifie pour l'ACV dans les PVD consiste à préciser comment cette stratégie conséquentielle devrait être appliquée et peut-être établir des lignes directrices en ce sens. La publication et diffusion de différentes études de cas réalisées pourrait en cela être instructive pour un plus grand nombre.

Manque de données génériques

Dans un contexte où les données sont peu nombreuses, peu détaillées ou de précision incertaine, l'utilisation de l'ACV se montre pour l'instant peu adaptée. Cependant, les concepts de cycle de vie sur lesquels elle est basée restent valables. C'est pourquoi la recherche dans les pays en développement devrait chercher à développer des modèles propres à la compréhension culturelle des problèmes environnementaux rencontrés et aux informations disponibles.

En particulier, la recherche doit faire face au manque de données génériques consistantes. En effet, dans un contexte non industrialisé, des données génériques ne permettent pas de donner une modélisation proche de la réalité, les techniques et technologies pour un même procédé étant trop différentes d'un producteur à l'autre. Ainsi, nous pouvons imaginer que ce manque de données génériques ne va pas ou très peu être comblé au cours des années à venir. La recherche doit donc faire face à l'utilisation de l'ACV selon la norme ISO14040, dans un contexte où les données génériques manquent et manqueront à long terme. Il s'agira

de déterminer comment cette utilisation est malgré tout possible et respecte l'esprit selon lequel cet outil a été développé.

Mon avis est qu'il ne s'agit pas de développer des bases de données génériques qui risquent de rester très éloignées de la réalité multiple et diverse du secteur informel, mais plutôt d'opter pour une approche partant d'une vision d'ensemble des problèmes et impacts environnementaux, sociaux et économiques rencontrés, d'identifier les causes de ceux-ci et d'établir une évaluation quantifiée de ce petit nombre d'indicateurs sélectionnés.

Cette proposition va dans le sens des efforts de recherche mis en œuvre pour le développement d'une spatialisation de l'ACV, et ouvre des perspectives plus larges, même si un peu éloignées de la méthodologie utilisée généralement.

9.3.3. Généralisation du cadre méthodologique de cette thèse

Un axe de recherche devrait à présent se concentrer sur la mise à l'épreuve du cadre méthodologique proposé dans cette thèse. Celui-ci est une première proposition qui doit être approfondie et utilisée dans le contexte de pays en développement, pour des projets et produits différents.

Il s'agit d'un outil pour une utilisation volontaire et non contrainte pour une auto-amélioration. Il n'a donc pas de vocation normative, la qualité des résultats étant pour l'instant uniquement garantie par la prise en compte des besoins de toutes les parties prenantes dans les critères d'évaluation. Il faut maintenant l'utiliser dans le but de déterminer ses limites, mais également préciser ses conditions d'utilisation, ainsi que les pratiques d'utilisation.

Le cadre méthodologique est pour l'instant limité à l'évaluation des projets de symbioses, qui sont par définition développés dans l'esprit du développement durable. Il serait intéressant de déterminer sous quelles conditions ce cadre d'analyse pourrait être appliqué à d'autres types de projets.

Diffusion

Un axe de recherche et développement à favoriser concerne la diffusion du cadre méthodologique en six étapes. Cette diffusion devrait passer en premier lieu par une publication dans une revue à comité de lecture.

Ensuite, il s'agira de déterminer comment ce cadre méthodologique pourrait être diffusé à plus large échelle, et par quel organe il pourrait être porté et renforcé.

9.4. Conclusion générale

L'Afrique de l'Ouest est encore une région en développement avec un très grand potentiel. Si le développement ne peut pas être mis en place par les gouvernements, les populations locales et les industries ont cependant un outil très puissant à leur disposition : l'Ecologie Industrielle et les Symbioses Agro-Industrielles. Les Symbioses Industrielles ont un rôle important à jouer dans la transition du système économique des pays en développement peu

industrialisés, tels ceux de l'Afrique de l'Ouest. Elles offrent de nombreuses opportunités pour créer des activités économiques là où les populations locales en ont besoin, en particulier dans les zones rurales, qui ont de manière générale peu d'opportunités allant dans ce sens. Les Symbioses Industrielles permettent dans ce contexte de penser à une relocalisation partielle des activités économiques dans ces pays vers des zones actuellement défavorisées.

La méthodologie que j'ai développée dans ce travail permet de poser un cadre d'analyse pour l'évaluation de la durabilité. Dans un tel système, l'Homme est replacé au centre de l'analyse et prend part à l'analyse de diverses manières. L'être humain est au centre car toutes les parties prenantes participent à l'élaboration du projet et à son évaluation. Il est aussi au centre car des critères spécifiques à la société et à l'économie complètent les critères environnementaux. Il est au cœur même des critères environnementaux, l'énergie humaine faisant partie des indicateurs évalués.

J'ai développé dans ce travail un cadre méthodologique qui donne une stratégie adaptée pour définir une méthodologie d'évaluation des conséquences et impacts socio-économiques et environnementaux de tels projets. Tout est donc dans les mains des acteurs industriels et civils qui souhaitent créer de nouvelles dynamiques locales, en vue de créer de nouvelles perspectives sociales et économiques et les faire fructifier pour les générations futures.

Annexes

Annexe 1 : Compte-rendu des entretiens

Plusieurs entretiens ont été effectués et sont reportés dans cette annexe. Les personnes rencontrées sont les suivantes :

1. M. Roger Dié Paré, Consultant dans le domaine coton et industrie. Cette personne connaît très bien la situation Burkinabé et est en lien avec Dagrís, tout en ayant une vision plus large du secteur industriel de ce pays.
2. M. Adama Traoré, Directeur général du développement industriel, Ministère du commerce, de la promotion de l'entreprise et de l'artisanat.
3. M. Denis Toé, Directeur des évaluations environnementales, Ministère de l'environnement et de l'amélioration du cadre de vie.
4. M. Abdoulaye Zonon, Macroéconomiste au CAPES – Centre d'analyse des politiques économiques et sociales, 1^{er} Ministère.
5. M. Robert M. Ouedraogo, Directeur général des productions végétales, Ministère de l'agriculture, de l'élevage et des ressources halieutiques.
6. M. Jean-Claude Monthubert, Directeur industriel de SN-Citec, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.
7. Mme Aki Kogachi, Spécialiste en environnement, Unité Environnement et Energie, PNUD – Burkina Faso.
8. M. Alain Sidi, Economiste national, Département de politique et stratégies, PNUD – Burkina Faso.

Les entretiens se sont généralement passés de la manière suivante: dans une première partie, je cherchais à connaître les stratégies de développement industriel ou de gestion des déchets et des pollutions. Je cherchais à connaître le rôle de la personne rencontrée et son niveau d'action possible. Dans une deuxième partie, je leur présentais les concepts de l'écologie industrielle en leur donnant quelques exemples et en leur demandant ce qu'ils en pensaient, comment ils voyaient cette nouvelle perspective pour le développement de leur pays. Finalement pour les personnes intéressées, je leur ai transmis par email quelques articles dont les références sont citées en fin de ce document.

A1.1 Entretien 1 : M. Roger Dié Paré, Consultant.

Lundi matin 19 novembre 2007

Je présente les principes de l'écologie industrielle à M. Paré. Il se fait un peu l'avocat du diable. Il trouve que le mot "écologie" est de trop. Je lui explique que dans ce domaine on s'intéresse aux flux de matières, contrairement à ce que les industries font habituellement, c'est-à-dire s'intéresser aux flux financiers.

Il trouve que l'exemple du sucre est un bon exemple, ainsi que celui du coton. Pour l'utilisation des tiges de cotonnier, le problème n'est pas encore résolu car ils contiennent de la silice, et ont donc de la peine à brûler. Difficile donc de les utiliser comme combustible,

même broyés et agglomérés en briquettes. En plus c'est difficile à ramasser. Donc pour le compost, ça ne va pas non plus car à cause de la silice, ça ne pourrait pas... Affaire en cours, donc.

Concernant la redistribution des résultats financiers du secteur coton : maintenant les recettes des graines sont du même niveau que les recettes des fibres. Pourtant les paysans sont payés en fonction du prix du marché mondial des fibres de coton. Ils ne reçoivent donc pas la part que ramène l'utilisation des graines de coton. Pourtant il en va de la survie des usines d'égrenage. Il faut que les cotonculteurs soient bénéficiaires sinon ils vont tous arrêter la culture!!! ...mais ce n'est pas si simple... affaire à creuser! Je ne comprends pas pourquoi les producteurs de coton n'exigent pas de recevoir leur part des recettes obtenues grâce à l'utilisation des graines!

Je lui parle aussi de différents niveaux d'intérêts des échanges de matières, le but final étant d'allonger au maximum le cycle de la matière avant son élimination finale. Ainsi l'utilisation comme combustible est vraiment la dernière des utilisations possibles.

M. Paré s'intéresse à deux choses qui pourraient concerner l'écologie industrielle.

En premier il s'intéresse à utiliser les déchets des fibres de coton pour faire de l'isolation thermique. Il est en relation avec la Sonabel (électricité du Burkina) à ce sujet. Cette utilisation est déjà développée en Europe, et fonctionne.

Le deuxième sujet concerne l'énergie utilisée dans les boulangeries. Actuellement le carburant pétrolier devient de plus en plus cher. Il propose donc d'utiliser à la place de l'huile végétale de palme qu'il ferait venir de la Côte d'Ivoire. Sur cette base, je lui propose de considérer une autre idée, réutiliser les huiles usées des restaurants qui sont actuellement simplement vidées dans la rue ou le caniveau. Il faudrait organiser un petit réseau de collecte contre rétribution et faire passer le message, mais a priori ça ne semble pas trop compliqué selon moi. Sa question est de savoir s'il y aura des quantités suffisantes. Pour moi, au vu de l'utilisation importante de l'huile pour la friture dans ce pays, une ville de 1,3 mio d'habitants devrait en fournir une quantité relativement importante! ...Mais il ne semble pas très convaincu par l'idée...

Mais il trouve quand même que la réflexion est intéressante et qu'il faudrait la pousser plus loin. Le problème de tous ces gens des ministères, c'est qu'ils n'ont pas le temps de réfléchir, et ils sont tout le temps dans l'action. Une telle stratégie pourrait donc leur être utile.

M. Paré a déjà contacté le directeur général du développement industriel, qui est un de ses amis. Ils ont réfléchi ensemble à un certain nombre de personnes à contacter en fonction de ce qu'ils ont compris de l'écologie industrielle. Ce sont les personnes suivantes :

- Directeur Général du Développement Industriel : M. Adama Traoré
- Directeur Général de l'Aménagement du territoire : M. Roger Nama
- Directeur Général de l'Energie, Ministère des mines et de l'énergie: M. Nomguerma Emmanuel
- Directeur Général de la production végétale, Ministère de l'agriculture

- Directeur Général de l'environnement, Ministère de l'environnement
- Conseil national pour l'environnement et le développement durable (CONEDD), 1^{er} ministère
- CAPES

A quoi, je demande d'ajouter :

- Chambre de commerce et d'industrie

A1.2 Entretien 2: Direction Général du Développement Industriel

DGDI, Ministère du Commerce, Av. Kwamen Krumah

M. Adama Traoré

Lundi matin 19 novembre 2007

Je présente rapidement l'écologie industrielle à M Traoré, en lui présentant l'exemple de l'industrie du sucre et de celle du coton comme exemple de symbiose. C'est une approche qui l'intéresse, une stratégie qui pourrait être intéressante. Mais il faut encore les convaincre et leur présenter des exemples réalisés.

Donc il faut que je lui envoie une description avec des exemples concrets, localisés etc. Sinon, le DGDI base sa stratégie sur un document de 1998 qu'il me transmet (SDI.doc). La stratégie de développement est basée sur 12 filières. Les questions d'environnement sont maintenant fondamentales pour le Burkina et il est essentiel d'y penser dès le début.

L'avis personnel de M. Traoré sur le développement économique du Burkina : depuis la colonisation puis ensuite depuis l'indépendance, les pays africains ne font qu'exporter leurs matières premières à l'étranger. Mais ils n'y gagnent rien, la misère est toujours là. Donc cette voie prise connaît maintenant ses limites, et il faut changer de voie. L'avenir est maintenant de ramener au maximum la transformation des matières premières en Afrique. Pour le Burkina Faso, les seules ressources sont liées à l'agriculture. Il voit donc surtout un avenir pour les agro-industries. Typiquement le Jatropha lui semble particulièrement intéressant.

Il me propose de prendre des rendez-vous avec les personnes des ministères :

- CAPES : M. Abdoulaye Zonon, qui est macro-économiste.
- Direction des évaluations environnementales, DG cadre de vie, Ministère de l'Environnement, M. Denis Toé.
- DG énergie, Ministère des Mines, M. Nomguerna
- DG Productions végétales, Ministère de l'Agriculture, M. Robert Ouedraogo
- CONEDD, la secrétaire permanente Mme Nikema

A1.3 Entretien 3 : Direction des évaluations environnementales

DEE, Direction Générale du Cadre de Vie, Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie
M. Denis Toé

Mardi 20 novembre 2007, 9h

Je commence par présenter mon sujet de thèse puis l'écologie industrielle à M. Toé. Il prend beaucoup de notes et semble très intéressé.

Il comprend globalement ce qu'est l'écologie industrielle.

Il collabore dans le cadre de son service avec l'université polytechnique de Bobo sur le sujet de l'Entreprise durable. Des étudiants sont amenés à faire des entretiens afin de déterminer la perception des risques environnementaux par les entreprises existantes.

Le rôle du DEE est d'appliquer les réglementations de 2001 sur les études d'impact et celles de 2007 sur les audits environnementaux. Il représente le ministère de l'environnement dans la commission nationale des investissements (CNI), où tout nouveau projet d'entreprise ou établissement classé doit être déposé pour recevoir une autorisation. Le classement est de 1 à 3 suivant le type de pollutions et incommodités engendrées. Il utilise également le classement des 12 types d'activités. Le décret sur la nomenclature recense les pollutions et problèmes attendus par type d'activité.

Le rôle du DEE est de mettre en place et d'appliquer la réglementation, puis si possible d'aider à la mise en place de solutions adaptées. Mais pour l'instant la dernière partie est encore rare, par manque de temps.

Le DEE est aussi présent à la commission des mines qui décide de l'ouverture ou non de nouvelles exploitations.

Je lui parle du projet d'utiliser les huiles usées des restaurants comme combustible et il trouve cela très intéressant. Il me parle également du problème que représente la prolifération des petites huileries, unité de production d'huile à Ouaga et Bobo, dont le développement n'est pas du tout maîtrisé (il s'agit certainement d'huileries non déclarées). Les processus ne sont pas du tout optimisés et il y a beaucoup de pertes, de déchets non utilisés, voire de pollutions des eaux! Il y aurait donc certainement quelque chose à faire là!

Il me parle d'un autre exemple qu'il a lui-même observé lorsqu'il était étudiant en Egypte. Il y a beaucoup de tanneries. Elles produisent un grand nombre de poussières et débris de cuir qui créent de grands problèmes de santé pour les employés. Ils se sont rendus compte qu'ils pouvaient très simplement récupérer ces débris à l'aide de sacs disposés correctement et réutiliser ces débris pour les ré-agglomérer et en faire un cuir de seconde qualité!

Comme quoi, s'occuper de l'environnement et régler les problèmes de pollutions peut être financièrement très rentable tout en améliorant la relation de l'entreprise et de son environnement.

Je prêche donc à un convaincu!

M. Toé a lui-même travaillé un certain temps sur les questions de comptabilité des ressources naturelles.

M. Toé est donc convaincu de l'intérêt de l'écologie industrielle comme stratégie de développement, il a une partie des outils en mains (le décret sur la nomenclature). Mais à voir ce n'est pas de son ressort de mettre ce genre de politiques en place. Il est par ailleurs autant convaincu que moi que s'occuper de l'environnement est un investissement dans l'avenir et que ça peut être très intéressant pour les entreprises, de toutes les tailles qu'elles soient!

A1.4 Entretien 4 : CAPES – Centre d'analyse des Politiques Economiques et Sociales

Dr. Abdoulaye Zonon, Macroéconomiste

Mercredi 21 novembre 2007, 17h

Je présente à M. Zonon les objectifs de mon travail de thèse et les principes de l'écologie industrielle.

M. Zonon vient de finir un rapport où des questions similaires ont été abordées. Il s'agit du rapport sur les pôles de compétitivité régionale au Burkina Faso. Il m'en donne un exemplaire. Dans ce rapport il parle entre autres de valoriser tout ce qui peut être valorisé. Mais c'est surtout économique.

Les concepts d'écologie industrielle lui plaisent beaucoup. Ils vont plus loin que la simple valorisation linéaire des matières sur un plan économique. La philosophie sous-jacente lui plait. C'est un cadre conceptuel. Il y a dans l'écologie industrielle une certaine idée de solidarité mondiale/internationale qui lui plait.

La zone industrielle de Bobo s'est créée autour du coton et de ses sous-produits (huileries, tourteaux, fibres courtes utilisées pour faire des serpillières, etc). Concernant l'avenir compromis de cette filière agricole, M Zonon pense que le coton ne va pas être abandonné au Burkina pour 3 raisons.

- premièrement, il n'y a pas actuellement d'autre culture qui pourrait la remplacer comme cash crop.
- ensuite, le coton est la seule culture qui est soutenue par le gouvernement. Il n'y a pas d'aide similaire pour le maïs, le mil ou le sucre.
- finalement, la demande chinoise est en croissance.

Concernant la redistribution des fruits de la valorisation des graines de coton, les questions sont justement au coeur des négociations actuelles. Chacun veut sa part. Et les huileries veulent aussi pouvoir rester rentables... Mais tout le monde a intérêt à ce que les paysans continuent à cultiver le coton, sinon c'est toutes les activités qui en dépendent qui sont compromises.

Concernant l'utilisation de la matière, il y a certainement un grand potentiel d'amélioration concernant la vente de fruits et légumes qui sont produits à Bobo. En effet, la production est supérieure à ce qui peut être vendu en vente directe. Il y a donc de grandes quantités qui ne sont pas vendues et pourrissent, ne sont pas valorisées. Il y a donc beaucoup de pertes. Qu'est-il fait de ces surplus? Certainement qu'ils sont jetés aux ordures avec le reste des déchets. Il y a donc un grand potentiel d'amélioration de la filière.

Concernant les huiles, les stations Shell récupèrent déjà toutes les huiles de vidange et servent de centre de collecte. Ils vendent cette huile à la Sonabel qui la brûle pour faire de l'électricité. Mais rien n'est encore fait de la chaleur dégagée! Cette huile est également utilisée par les vendeurs de porc au four.

Concernant le Jatropha, le PNGT (programme national de gestion du terroir) a mis en place un projet en ce sens à Kaya qui fait partie des Mécanismes de Développement Propre. L'huile est utilisée pour les motopompes destinées à l'irrigation.

Il me parle également d'un exemple où la réflexion en amont peut avoir des effets bénéfiques financièrement. Il pense aux raffineries qui en Californie ont été obligées de traiter l'essence pour la désulfurer. Comme ils ne voulaient pas faire les investissements, ils ont délocalisé la production d'essence. Mais maintenant la quantité n'est plus suffisante donc ils ont été obligés de mettre ça en place maintenant. Ceci crée de l'emploi, et une nouvelle activité. Le soufre lui-même pourra ainsi être réutilisé d'une manière ou d'une autre alors que si on s'intéressait à ce problème uniquement au niveau des voitures, la récupération de cette matière dans les catalyseurs poserait bien plus de problèmes et ne serait sûrement jamais faite!

Maintenant quand je lui pose la question de l'avenir économique du Burkina Faso, il me répond qu'à moyen terme il voit des améliorations possibles. L'avenir économique du Burkina va être comme celui de toute l'Afrique. Il y a un grand potentiel d'intéresser les investisseurs car la rentabilité économique est importante.

Mais à court terme, les choses ne sont pas en bonne voie... Le problème concerne la direction politique du pays. En effet, les dirigeants de l'Etat (= le président, + peut-être ses cadres?) cherchent surtout à attirer l'aide au développement, et non les entreprises. Les entreprises ne sont donc pas au coeur des préoccupations de la politique Burkinabée! (Quelle franchise!!! c'est bon d'entendre les choses dites clairement! Et quelle différence par rapport à la Suisse où l'économie et les entreprises dirigent officiellement le pays).

Mais pourquoi est-ce comme ça? Tous les cadres actuels sont issus d'une génération des années 60, qui sont tiers-mondistes, ou marxistes. Ils voient donc en l'entreprise un moyen du monde capitaliste, donc mauvais, et contre lequel il faut lutter. Ce n'est en tout cas pas une source de développement possible!!! Ils ne voient pas l'entreprise comme créatrice d'emploi (et M Zonon voit justement dans l'écologie une source d'emplois potentiels!) Ainsi

le système éducatif n'est pas adapté aux besoins du pays et produit des chômeurs! Il faudrait donc depuis longtemps des réformes de ce système éducatif, ...qui tardent à venir... afin de former des gens aptes au travail!

Maintenant, concernant la stratégie cadre du développement industriel que M. Traoré le DGDI m'a donné l'autre jour, cette stratégie date de 1998 ou 99. Cette stratégie a été rédigée à l'époque pour une conférence interafricaine, afin de répondre à la demande extérieure... afin d'avoir une stratégie... Mais depuis qu'elle existe rien n'a jamais été fait dans son sens, pour réaliser cette stratégie. La raison à ceci... l'Etat n'y croit pas... donc ne met pas les moyens pour la réaliser.

Les seules entreprises qui sont soutenues par l'Etat sont les entreprises qui font de l'importation. Mais il faudrait que les exportations soient mises en priorité! Que les paysans soient aiguillés vers le marché extérieur. Ainsi le marché intérieur sera aligné sur ces standards, et sera ainsi meilleur aussi!

Quels sont les moyens potentiels pour améliorer la situation et aller vers un développement pérenne?

- il faut développer les pôles de compétitivité des régions, et favoriser les possibilités de transformation sur place des matières.
- La DG de l'aménagement du territoire a également un grand rôle à jouer, notamment pour planifier les infrastructures nécessaires dans les différentes régions. (Un exemple de mauvaise planification ou de planification aberrante est justement la route de Dori, une belle route goudronnée comme il y en a peu dans le pays... mais qui est quasi inutilisée, si ce n'est pour le tourisme... Alors que d'autres régions sont les greniers du pays, et aucune route goudronnée n'y conduit!)

M. Zonon est vraiment intéressé à en savoir plus concernant l'écologie industrielle car il y voit un réel plus pour le développement du pays! Il a très bien compris la logique qui se trouve derrière les symbioses industrielles (c'est même lui qui a commencé par me parler de "synergies" quand je lui ai posé la question de l'intérêt de l'écologie industrielle). Je lui ai parlé de l'exemple de Kalundborg, comme exemple mythique. Il est très intéressé à recevoir plus d'informations sur le sujet. Je pense qu'il y voit un moyen de mettre un cadre conceptuel à quelque chose qu'il sentait comme bon intuitivement, et donc de mieux justifier ses logiques de priorités. Pour l'instant le développement du pays est vu au travers des 12 filières identifiées comme pôles de compétitivité selon les régions. L'écologie industrielle va plus loin en proposant d'allonger le cycle de matières de manière intersectorielle. On sort donc de la logique linéaire habituelle.

A1.5 Entretien 5 : DGPV, Robert M. Ouedraogo, DG productions végétales, Ministère de l'Agriculture, de l'élevage et des ressources halieutiques.

Comme d'habitude je commence par présenter mon sujet de thèse puis l'écologie industrielle, le principe des symbioses industrielles, faire des liens transversaux entre les filières actuelles, l'allongement du cycle de la matière, la gestion systémique et non linéaire des processus, les intérêts économiques aussi bien qu'environnementaux.

Puis j'essaie de voir avec lui quelles sont les perspectives liées à l'agriculture et aux productions végétales.

Sa première réaction est de trouver l'idée très intéressante, l'approche pertinente. Les gens ne font pas souvent ces liens dans une vision aussi claire.

L'idée est vraiment intéressante, elle permet de structurer les actions et d'avoir une stratégie globale.

Au niveau des productions de céréales, typiquement les tiges ne sont pas utilisées ou seulement en faible quantité. (A mon avis c'est relatif... car il me semble que les paysans les utilisent pour la nourriture du bétail, sur les champs-mêmes).

Concernant les tiges de coton, ils arrivent maintenant à les composter grâce à l'ajout d'un produit, le compost +. Mais maintenant des italiens sont venus et achètent toutes les tiges pour en faire du biogaz.

Il voit aussi dans cette logique l'association de cultures adaptées les unes aux autres lors de la rotation de culture. Typiquement les systèmes coton – élevage – céréales.

Il me conseille de contacter son coordinateur "gestion intégrée des productions et des prédateurs, M Nako Souleymane.

Ensuite il écourte notre rencontre et m'expédie pour recevoir M. Million, ex ambassadeur de la FAO et du FIDA...

A1.6 Entretien 6 : Jean-Claude Monthubert, SN-Citec

Le vendredi 14 décembre 2007, à l'usine SN-Citec de Bobo-Dioulasso.

La discussion tourne autour de mes objectifs et de la vision de M. Monthubert concernant le développement économique et industriel au Burkina Faso.

Selon lui, l'un des problèmes les plus importants qui empêche actuellement le développement de l'Afrique en général est le problème de la monnaie (FCFA) dont le taux de change est fixé à l'Euro, et qui souffre donc énormément de la dévaluation du dollar! Ces choses-là impliquent qu'il est actuellement moins cher d'importer des produits (que de les produire sur place), ou que l'importation est largement favorisée et l'exportation au contraire plutôt défavorisée...

Un autre problème est que les Africains privilégient leur commerce (et donc importation) et non l'industrie.

Il semble que le gouvernement n'est pas conscient que la société Burkinabé est à deux vitesses : les instruits et les paysans.

Eaux usées : SN-Citec traite ses eaux usées sur le site de l'usine. Une aberration à ce sujet : le gouvernement souhaite construire une station d'épuration pour la zone industrielle. Ils demandent à SN-Citec de payer pour son raccordement obligatoire à ce réseau, bien que l'eau soit déjà traitée. Et ils refusent que l'entreprise arrête son traitement des eaux actuel car la STEP a été dimensionnée en considérant que cette eau était traitée...

Flux de matières et d'énergie liés aux activités de l'usine :

Entrant - Utilisé:

- Eau : 35m³/h (=840m³/j)
- Graines de coton : 100'000t/an (l'entreprise reçoit env. 12'000t de graines par mois pendant 5 mois et travaille sur les stocks).
- Hexane : 2000l/j
- Soude
- Sulfate d'alumine

Sortant:

- Huile alimentaire : 17'000t/an
- Tourteaux pour bétail : 55'000t/an
- Le reste : utilisé en interne pour produire de l'énergie (coques de graines, linter et une partie du tourteau de graines)

Le procédé d'extraction de l'huile est le suivant:

Tout d'abord, la graine est séparée de la coque par voie mécanique. Les coques sont directement envoyées par soufflerie dans des stocks ou dans la production d'électricité où elles sont brûlées. => récupération de l'énergie mécanique (pistons) (=> électricité) mais pas de l'énergie thermique (si je me souviens bien).

L'huile est ensuite extraite des graines par solvant (bien meilleur rendement que par extraction mécanique). Les graines sont donc mélangées à de l'hexane qui extrait l'huile par processus chimique. Cette huile passe ensuite dans de la soude pour éliminer l'acidité de l'huile.

La soude est lavée à l'eau, puis l'eau traitée au sulfate d'alumine avant d'être rejetée dans la nature.

L'huile doit ensuite être décolorée (passage dans de la terre???) et désodorisée (traitement thermique?) avant d'être mise en sachet ou bouteille.

Le reste des graines déshuilées et sans hexane est récolté et pressé séparément afin d'en faire du tourteau pour bétail. Il contient une bonne partie de protéines.

Il y a env. 1000 employés. Le chiffre d'affaire est de 30mio d'Euros par an.

Le problème de SN-Citec est qu'elle base toute son activité sur une seule matière première, ce qui la rend très fragile. En effet, cette activité est réalisée dans un pays enclavé, où l'énergie est chère, et où l'environnement économique est mauvais.

L'entreprise d'égrenage Sofitex a fait 40 millions d'Euros de déficit l'an passé!

La matière première sur laquelle SN-Citec base son activité est les graines de coton, qu'elle achète à Sofitex, l'usine d'égrenage. Dans le contexte actuel, un nombre croissant d'agriculteurs cesse de cultiver du coton pour des problèmes de rentabilité. En effet, les paysans sont payés par tonne de coton-graine, et le prix du coton-graine est fixé par rapport à la valeur de la fibre de coton. La dévaluation du Dollar par rapport à l'Euro ainsi que d'autres facteurs comme les subventions à l'exportation dans les pays du Nord impliquent que le prix de la fibre est très bas en ce moment et que les paysans n'en tirent plus grand profit.

Cette situation est particulièrement déplorable pour SN-Citec car il y a ainsi une baisse de la quantité de graines de coton produites et donc une baisse de la quantité d'huile produite. L'entreprise cherche donc un moyen d'être directement en contact avec les paysans afin de leur donner une opportunité de revenu supplémentaire lié au coton et ainsi assurer un certain avenir à la filière.

C'est ainsi que M. Monthubert a pensé à acheter aux paysans les tiges de cotonniers. Actuellement celles-ci sont simplement brûlées dans les champs car cela demande un travail important de les récolter. Mais étant donné que les travaux des champs sont terminés aux alentours de fin décembre et ne reprennent pas avant mai, il serait possible de les récolter pendant cette période.

SN-Citec achèterait donc ces tiges pour les broyer et les utiliser dans sa chaudière afin de produire de l'électricité. En effet son installation brûle actuellement 20'000t de coques ce qui permet de produire 1,3MWh pendant toute l'année. La chaudière a une capacité de 2,5MWh. Au Burkina, 1kWh coûte 110FCFA (prix industriel), ce qui est un des prix les plus chers du monde.

Avec ce projet, SN-Citec pourrait directement rémunérer les paysans. L'idée serait de les payer en nature, avec du tourteau pour bétail. Ca permettrait de court-circuiter les réseaux de détaillants qui se font une marge importante avant de revendre le tourteau aux paysans.

M. Monthubert n'envisage pas de revendre cette électricité à une autre usine proche ou à des villages alentours. En effet, la loi n'autorise pas la vente d'électricité de particulier à particulier. Il est absolument nécessaire de passer par l'entreprise d'Etat SONABEL. Et selon lui, il n'a aucune chance d'être payé un jour pour l'électricité livrée. Il y a donc peu d'espoir de symbiose industrielle à ce niveau-là.

Concernant les biocarburants au Burkina Faso, M. Monthubert pense que c'est une illusion. Il pense en particulier que le Jatropha fait beaucoup parler de lui, mais que c'est une fausse solution. En effet, cette plante est toxique pour tous les animaux (y compris ceux qui ont 2 estomacs). Les graines nécessitent donc une installation dédiée pour leur pressage, et les déchets ne peuvent pas être utilisés pour alimenter le bétail. Ensuite pour avoir du biodiesel,

il faut une unité d'estérification ainsi que de l'éthanol, ce qui produit de la glycérine. Ce type d'installation (presse et estérification) sont selon lui bien trop coûteuses pour les moyens à disposition des paysans. Donc même pour un usage local, il ne voit pas d'intérêt dans les biocarburants.

A1.7 Entretien 7 : Mme Aki Kogachi, PNUD, Energie et Environnement

Mardi 4 mars 2008.

Mme Kogachi travaille au PNUD, Burkina Faso, dans le secteur Energie et Environnement. Son travail concerne les changements climatiques et les MDP ainsi que le renforcement des capacités du pays pour lutter contre les pertes de biodiversité. Un volet concerne notamment la sensibilisation de la population aux problèmes que les changements climatiques vont apporter au niveau de l'agriculture.

Suite à la présentation de l'Ecologie Industrielle et de mes questionnements concernant les stratégies de développement économique au Burkina, elle pense que je pourrais rencontrer M. Nicolas Ponti, économiste qui est le grand chef de ce service à Ouaga, et donc très très occupé. Elle pense également à M. Dieudonné Kini, lui aussi économiste et qui doit être plus disponible.

Concernant la stratégie de développement économique du Burkina, le PNUD se base sur le document stratégique suivant pour toute action. C'est la référence : "Stratégie de lutte contre la pauvreté".

Mme Kogachi déplore le fait que l'environnement est souvent mis de côté et considéré comme n'étant pas une priorité. Pourtant le Burkina dépend très largement de son agriculture, qui elle est dépendante des conditions environnementales. On ne peut donc pas se passer de stratégie à ce niveau-là.

Mais au niveau des importances hiérarchiques, le Ministère de l'Environnement n'est pas très puissant. Il y a bien sûr en premier le Premier Ministère, puis le Min. des Finances. Le Min. de l'Agriculture est également relativement important. Puis seulement celui de l'Environnement.

Mais l'environnement devient petit à petit un point plus considéré. Le PNUE a choisi le Burkina Faso comme pays pilote pour ses stratégies "pauvreté et environnement".

La question est "comment mieux communiquer les changements climatiques à la population?". En effet, elle estime que les changements climatiques sont un problème majeur en matière d'environnement ici. Car avec l'augmentation de la température, beaucoup de problèmes agricoles vont apparaître, comme l'augmentation du taux d'évaporation, de l'érosion etc etc. (*Ma question est: les paysans burkinabés ne peuvent pas agir sur les changements climatiques, ils doivent les subir et s'y adapter. Par contre il y a d'autres problèmes environnementaux dont ils sont directement responsables ou sur lesquels ils peuvent agir - pb de santé liés aux pesticides, qualité de l'eau, lutte contre l'érosion, etc etc.*)

Concernant le travail sur les MDP, la question est "comment attirer les projets MDP dans un pays dont la situation de base est peu polluante et ne peut que tendre vers une situation moins bonne?". Sa réponse est :

- Il faut développer une méthodologie adaptée pour les projets forestiers (*est-ce vraiment intéressant au Burkina???*)
- Mettre en place des projets avec la SONABEL, entreprise d'Etat possédant le monopole de l'électricité.
- Mise en place de projets liés à la gestion des déchets. En groupant différents acteurs, il est possible d'arriver à un projet MDP. Il serait notamment possible de produire du biogaz par exemple.

Les blocages pour la réalisation des MDP au Burkina sont :

- la langue : tous les documents sont en anglais, et peu nombreuses sont les personnes qui maîtrisent suffisamment cette langue ici au Burkina. Ils ont donc besoin d'un soutien logistique du PNUD à ce niveau.
- Un autre problème est le manque de méthodologie adaptée, et de coordination des actions. Par exemple pour les biocarburants, tout le monde (tous les Ministères) est favorable mais il n'y a pas de coordination et chacun fait ça dans son coin à sa manière, de manière à être bénéficiaire des résultats. Par exemple, le Ministère de l'Agriculture fait des choses dans son coin sans consulter le Min. de l'Environnement et vice-versa. De plus pour les biocarburants, le lobby Shell/Total n'y est pas du tout favorable.

En ce qui concerne le biogaz, le gouvernement ou le PNUD (*je n'ai pas noté...*) travaille en collaboration et mandate l'ONG SNV, une ONG financée par la coopération des Pays-Bas, pour la production de biogaz provenant des déchets des animaux.

Un autre projet existant (et qui semble bien fonctionner) concerne les plateformes multifonctionnelles. Comme par exemple le projet énergie villageoise :

Un petit générateur au diesel est mis en place dans le village afin de moulinier le mil et de produire un peu d'électricité (extraction de l'eau, etc). Ceci laisse donc plus de temps aux femmes pour réaliser d'autres activités (env. 5h par jour!), et générer ainsi plus de revenus, ce qui leur permet d'acheter le diesel nécessaire à faire tourner le moteur. Les activités génératrices de revenus sont par exemple la préparation du Karité qui est acheté entièrement par l'Oréal.

Concernant les biocarburants, le Jatropha est vu comme un potentiel d'avenir! Mais le problème des MDP c'est qu'ils favorisent une entreprise qui gère une activité et non pas une région! Il reste donc le souci de redistribution des moyens financiers...

Une étude commandée par le PNUD BF sort autour du 12 mars 2008 sur le potentiel des MDP au Burkina Faso.

Concernant le secteur informel et son potentiel regroupement par type d'activité dans le but d'un MDP par exemple, elle pense qu'un acteur convaincu peut y arriver. Ca peut être une ONG relativement puissante. Mais le secteur privé/secteur bancaire qui évaluent en général le risque encouru ne prendront pas de telles dispositions.

A1.8 Entretien 8 : M Alain Siri, Economiste national, PNUD

Jeudi 6 mars 2008.

Je lui parle de mon projet de thèse, de l'écologie industrielle et lui pose des questions sur les stratégies de développement économique au Burkina Faso.

Le développement économique du pays passe par des politiques sectorielles. Un effort est mis actuellement au niveau de l'agriculture et de l'élevage.

M. Siri pense que le développement du pays ne passe pas par une grosse industrialisation. Il n'y a d'ailleurs pas de stratégie en ce sens. Il y a quelques petites initiatives pour développer la petite entreprise, mais rien de très structuré. L'intérêt serait d'élargir les perspectives d'emploi. Mais l'enclavement et le peu de ressources du Burkina en font un pays dépendant de l'extérieur. Selon lui, comme il n'y a pas d'énergie disponible au Burkina, il n'y a pas d'industrialisation possible non plus.

En ce qui concerne l'électricité, il y a effectivement un projet d'électrifier jusqu'à 50% du pays (actuellement 2% des campagnes ont accès à l'électricité...), ce qui va intensifier la demande en électricité. Le projet (et ce qui est fait actuellement) est d'importer cette électricité de la Côte d'Ivoire et du Nigéria.

Dans les dernières années, les exportations étaient basées sur les matières premières brutes (non transformées): coton, bétail, cuir, mines (or), ... Cependant la stratégie qui reposait tout le développement sur le secteur primaire a montré ses limites et les secteurs secondaires et tertiaires sont bien plus intéressants et pourraient être bénéfiques. Le tourisme par exemple pourrait amener des devises mais il y a malheureusement peu de soutien et donc peu de documentation politique dans ce sens.

Selon M. Siri, l'aide internationale pourrait atteindre jusqu'à 40% du budget national au Burkina Faso (*80% selon le doc. de M. Zonon!*). Les bailleurs de fonds sont confiants et n'ont pas peur d'investir au Burkina car ils estiment que les finances publiques sont relativement bien gérées, ce qui incite à plus de générosité grâce au respect des procédures.

Il y a cependant un constat (et même un rapport à ce sujet) que l'aide internationale n'atteint pas suffisamment la population qu'elle devrait toucher. L'impact des finances sur la diminution de la pauvreté n'est pas très important...

Cependant il y a un problème de capacités, les cadres (Ministres et leurs directeurs généraux) ne sont pas suffisamment compétents pour évaluer l'impact des politiques mises en place.

Concernant les perspectives de développement pour le Burkina d'ici 30 ans:

- il y a 10 ans, il y avait un taux bien plus important d'analphabétisme et d'enfants non scolarisés. Il y a donc déjà un grand effort qui a été fait en ce sens et qui commence à porter des fruits.
- d'ici 10 ans, tout le monde devrait donc être scolarisé.

- Mais maintenant reste le problème des offres d'emploi adaptées au niveau de formation des personnes. Il y a donc un plan politique dans ce sens ciblant les formations professionnalisantes (*mais liées à des écoles et non pas à des apprentissages*)

M. Siri pense que d'ici 30 ans, la pauvreté aura globalement baissé, mais qu'il faudra pour cela passer par une phase difficile, une crise car la politique de scolarisation est molle et peu entreprenante.

Concernant les entreprises et le secteur privé. Il y a actuellement une crise entre le gouvernement et le secteur privé car ce dernier a l'impression d'être utilisé et taxé de manière trop importante, sans rien recevoir en retour (*ce qui est certainement le cas de toutes les entreprises déclarées en Afrique de l'Ouest*). Le Burkina est classé avant-dernier de l'UEMOA en terme de mobilisation fiscale. Il n'y a actuellement pas de stratégie pour la stimulation de l'entrepreneuriat et la formalisation des petites entreprises. Mais il y a plein de petites initiatives qui ne sont pas coordonnées et donc sont incohérentes. C'est donc un problème important pour le développement du pays. Le problème est lié directement à l'analphabétisation, même au niveau des cadres/dirigeants du pays.

Il y a peu de cadres de politiques intégrées. Celles qui existent concernent l'éducation, la santé. Sinon toutes les initiatives sont généralement dispersées. Il y a également le document cadre de la stratégie de réduction de la pauvreté qui est un politique sectorielle.

A1.9 Entretien 9 : DGD, Adama Traoré

Vendredi 7 mars 2008.

Monsieur Traoré me reçoit vendredi matin, à 7h30. Il a peu de temps et doit partir rapidement pour l'ouverture d'un forum de la CEDEAO, mais a quelques minutes pour discuter avec moi. Dans ce climat, j'aborde 2 questions à savoir la position de son service face au secteur informel et à la formalisation, ainsi que la critique qui émane du document sur les pôles de compétitivité concernant la dispersion des moyens de soutien au secteur privé.

M. Traoré reconnaît qu'il y a un manque de coordination entre les différents organes de soutien (*mais ce n'est pas son travail de coordonner ces choses-là!*). Il y a quand même le CEFORE qui regroupe toutes les formalités à remplir pour les entreprises. Concernant les démarches administratives, il y a le "code des investissements", ainsi que les formalités de création d'entreprises.

Concernant les symbioses, la SONABEL détient effectivement le monopole de l'électricité. Point. Il n'y a pas de loi concernant les déchets (*vraiment???*).

Selon lui, la formalisation est bonne pour l'économie (*logique, ça rapporte de l'argent à l'Etat... hum*). Concernant le fait que le secteur privé se sent exploité par l'Etat en payant les taxes et impôts sans avoir rien en retour, il estime que la critique n'est pas justifiée car il est bien entendu que ces taxes perçues sont utilisées pour augmenter le bien-être de tous (*vraiment...?*), de manière générale... mais les moyens sont petits...

Comment selon lui mettre en oeuvre et réaliser les conseils du document sur les pôles de compétitivité? Selon lui c'est à l'autorité supérieure (*premier Ministère?*) de décider si ça les intéresse. Ensuite, le ministère de l'Agriculture pourrait aussi réaliser quelque chose dans ce sens car il est selon lui moins dépendant du ministère des Finances car il a beaucoup de projets appuyés par l'extérieur. (*Ou comment dire : je m'en lave les mains, je n'en ai rien à faire de savoir si ça sera réalisé ou non?*)

Mon constat général: M. Traoré est beaucoup moins disponible pour discuter que lors de notre premier rendez-vous. Peut-être que par souci de rapidité, je n'y vais pas avec le dos de la cuillère et que j'aborde directement les questions qui me concernent. Le sujet des symbioses peut être intéressant, mais ce n'est pas lui qui jouera le rôle de liant, de la personne qui crée et entretient les relations entre les entreprises afin de favoriser les échanges de matières et énergies.

A1.10 Synthèse des entretiens réalisés

Planification et stratégie du développement économique et industriel du Faso. Gestion de l'environnement et des pollutions.

Information	Source
Il existe une "stratégie du développement industriel" du Burkina	DGDI, Adama Traoré
Cette stratégie date de 1998	DGDI, Adama Traoré
Cette stratégie est basée sur le développement de 12 filières stratégiques	DGDI, Adama Traoré
Le développement économique du pays passe par des politiques sectorielles. Un effort est mis actuellement au niveau de l'agriculture et de l'élevage.	Alain Siri, PNUD
Concernant la stratégie de développement économique du Burkina, le PNUD se base sur le document stratégique suivant pour toute action. C'est la référence : "Stratégie de lutte contre la pauvreté".	Aki Kogachi PNUD
Il y a peu de cadres de politiques intégrées. Celles qui existent concernent l'éducation, la santé. Sinon toutes les initiatives sont généralement dispersées. Il y a également le document cadre de la stratégie de réduction de la pauvreté qui est une politique sectorielle.	Alain Siri, PNUD
M. Siri pense que le développement du pays ne passe pas par une grosse industrialisation. Il n'y a d'ailleurs pas de stratégie en ce sens. Il y a quelques petites initiatives pour développer la petite entreprise, mais rien de très structuré. L'intérêt serait d'élargir les perspectives d'emploi.	Alain Siri, PNUD
Mais l'enclavement et le peu de ressources du Burkina en font un pays dépendant de l'extérieur. Selon lui, comme il n'y a pas d'énergie disponible au Burkina, il n'y a pas d'industrialisation possible non plus.	Alain Siri, PNUD
Dans les dernières années, les exportations étaient basées sur les matières premières brutes	Alain Siri, PNUD

(non transformées): coton, bétail, cuir, mines (or), ... Cependant la stratégie qui reposait tout le développement sur le secteur primaire a montré ses limites et les secteurs secondaires et tertiaires sont bien plus intéressants et pourraient être bénéfiques. Le tourisme par exemple pourrait amener des devises mais il y a malheureusement peu de soutien et donc peu de documentation politique dans ce sens.	
Selon M. Siri, l'aide internationale pourrait atteindre jusqu'à 40% du budget national au Burkina Faso (80% selon le doc. de M. Zonon!). Les bailleurs de fonds sont confiants et n'ont pas peur d'investir au Burkina car ils estiment que les finances publiques sont relativement bien gérées, ce qui incite à plus de générosité grâce au respect des procédures.	Alain Siri, PNUD
Il y a cependant un constat (et même un rapport à ce sujet) que l'aide internationale n'atteint pas suffisamment la population qu'elle devrait toucher. L'impact des finances sur la diminution de la pauvreté n'est pas très important...	Alain Siri, PNUD
Cependant il y a un problème de capacités, les cadres (Ministres et leurs directeurs généraux) ne sont pas suffisamment compétents pour évaluer l'impact des politiques mises en place.	Alain Siri, PNUD
Il n'y a actuellement pas de stratégie pour la stimulation de l'entrepreneuriat et la formalisation des petites entreprises. Mais il y a plein de petites initiatives qui ne sont pas coordonnées et donc sont incohérentes. C'est donc un problème important pour le développement du pays. Le problème est lié directement à l'analphabétisation, même au niveau des cadres/dirigeants du pays.	Alain Siri, PNUD
Concernant la création d'entreprises et la formalisation du secteur informel, M. Traoré reconnaît qu'il y a un manque de coordination entre les différents organes de soutien (<i>mais ce n'est pas son travail de coordonner ces choses-là!</i>). Il y a quand même le CEFOR qui regroupe toutes les formalités à remplir pour les entreprises. Concernant les démarches administratives, il y a le "code des investissements" que je peux acheter en bas du bâtiment, ainsi que les formalités de création d'entreprises.	DGDI, Adama Traoré
Depuis la colonisation puis ensuite depuis l'indépendance, les pays africains ne font qu'exporter leurs matières premières à l'étranger. Mais ils n'y gagnent rien, la misère est toujours là. Donc cette voie prise connaît maintenant ses limites, et il faut changer de voie. L'avenir est maintenant de ramener au maximum la transformation des matières premières en Afrique.	DGDI, Adama Traoré
Pour le Burkina Faso, les seules ressources sont liées à l'agriculture. Il voit donc surtout un avenir pour les agro-industries. Typiquement le Jatropha lui semble particulièrement intéressant.	DGDI, Adama Traoré
Pas de stratégie pour l'indépendance énergétique du pays. Projet d'électrification de 50% des villages, basé sur l'importation d'électricité	M. le conseiller au Ministre de l'énergie
Les ministres n'ont pas le temps de réfléchir et d'élaborer des stratégies. Ils sont dans l'action continuellement.	Roger Paré
Collaboration dans le cadre de son service avec l'université polytechnique de Bobo sur le sujet de l'Entreprise durable. Des étudiants sont amenés à faire des entretiens afin de déterminer la perception des risques environnementaux par les entreprises existantes.	DEE, Denis Toé
Le rôle du DEE est de mettre en place et d'appliquer les réglementations de 2001 sur les études d'impact et celles de 2007 sur les audits environnementaux, puis si possible d'aider à la mise en place de solutions adaptées. Mais pour l'instant la dernière partie est encore rare,	DEE, Denis Toé

<p>par manque de temps.</p> <p>Il représente le ministère de l'environnement dans la commission nationale des investissements (CNI), où tout nouveau projet d'entreprise ou établissement classé doit être déposé pour recevoir une autorisation.</p> <p>Le rôle du DEE est de mettre en place et d'appliquer la réglementation,</p> <p>Le DEE est aussi présent à la commission des mines qui décide de l'ouverture ou non de nouvelles exploitations.</p>	
<p>M. Zonon vient de finir un rapport où des questions similaires ont été abordées. Il s'agit du rapport sur les pôles de compétitivité régionale au Burkina Faso. Dans ce rapport il parle entre autres de valoriser tout ce qui peut être valorisé. Mais c'est surtout économique.</p>	CAPES, A. Zonon
<p>Avenir économique du Burkina :</p> <p>A moyen terme, améliorations possibles. L'avenir économique du Burkina va être comme celui de toute l'Afrique. Il y a un grand potentiel d'intéresser les investisseurs car la rentabilité économique est importante.</p> <p>Mais à court terme, les choses ne sont pas en bonne voie... Le problème concerne la direction politique du pays. En effet, les dirigeants de l'Etat (= le président, + peut-être ses cadres?) cherchent surtout à attirer l'aide au développement, et non les entreprises. Les entreprises ne sont donc pas au coeur des préoccupations de la politique Burkinabée! (Quelle franchise!!! c'est bon d'entendre les choses dites clairement! Et quelle différence par rapport à la Suisse où l'économie et les entreprises dirigent officieusement le pays).</p> <p>Mais pourquoi est-ce comme ça? Tous les cadres actuels sont issus d'une génération des années 60, qui sont tiers-mondistes, ou marxistes. Ils voient donc en l'entreprise un moyen du monde capitaliste, donc mauvais, et contre lequel il faut lutter. Ce n'est en tout cas pas une source de développement possible!!! Ils ne voient pas l'entreprise comme créatrice d'emploi (et M Zonon voit justement dans l'écologie une source d'emplois potentiels!). Ainsi le système éducatif n'est pas adapté aux besoins du pays et produit des chômeurs! Il faudrait donc depuis longtemps des réformes de ce système éducatif, ...qui tardent à venir... afin de former des gens aptes au travail!</p>	CAPES, A. Zonon
<p>Stratégie cadre du développement industriel date de 1998 ou 99. Cette stratégie a été rédigée à l'époque pour une conférence interafricaine, afin de répondre à la demande extérieure... afin d'avoir une stratégie... Mais depuis qu'elle existe rien n'a jamais été fait dans son sens, pour réaliser cette stratégie. La raison à ceci... l'Etat n'y croit pas... donc ne met pas les moyens pour la réaliser.</p>	CAPES, A. Zonon
<p>Les seules entreprises qui sont soutenues par l'Etat sont les entreprises qui font de l'importation. Mais il faudrait que les exportations soient mises en priorité! Que les paysans soient aiguillés vers le marché extérieur. Ainsi le marché intérieur sera aligné sur ces standards, et sera ainsi meilleur aussi!</p>	CAPES, A. Zonon
<p>Quels sont les moyens potentiels pour améliorer la situation et aller vers un développement pérenne?</p> <p>il faut développer les pôles de compétitivité des régions, et favoriser les possibilités de transformation sur place des matières.</p> <p>La DG de l'aménagement du territoire a également un grand rôle à jouer, notamment pour planifier les infrastructures nécessaires dans les différentes régions. (un exemple de mauvaise planification ou de planification aberrante est justement la route de Dori, une</p>	CAPES, A. Zonon

belle route goudronnée comme il y en a peu dans le pays... mais qui est quasi inutilisée, si ce n'est pour le tourisme... Alors que d'autres régions sont les greniers du pays, et aucune route goudronnée n'y conduit!)	
--	--

Principes de l'Ecologie Industrielle présentés

Information	A qui
L'EI se base sur les flux de matières et non sur les flux financiers	Tous
But de l'EI: allonger au maximum le cycle de la matière avant son élimination finale	Tous
L'utilisation de la matière comme combustible est donc la dernière des utilisations possibles	Roger Paré
Symbioses industrielles : Exemple de l'industrie sucrière	Tous
Symbioses industrielles : Exemple de la filière coton	Tous
Utilisation des huiles usées de friture comme combustible	Tous
Faire des liens transversaux entre les filières actuelles, l'allongement du cycle de la matière, la gestion systémique et non linéaire des processus, les intérêts économiques autant bien qu'environnementaux.	DGPV, R. Ouedraogo

L'écologie Industrielle comme outil de développement? Quelles opportunités pour quelles filières?

Information	Source
C'est une approche qui l'intéresse, une stratégie qui pourrait être intéressante. Mais il faut encore les convaincre et leur présenter des exemples réalisés.	DGDI, Adama Traoré
Les questions d'environnement sont maintenant fondamentales pour le Burkina et il est essentiel d'y penser dès le début.	DGDI, Adama Traoré
Idée très intéressante, l'approche pertinente. Les gens ne font pas souvent ces liens dans une vision aussi claire. Permet de structurer les actions et d'avoir une stratégie globale.	DGPV, R. Ouedraogo
Les concepts d'écologie industrielle lui plaisent beaucoup. Ils vont plus loin que la simple valorisation linéaire des matières sur un plan économique. La philosophie sous-jacente lui plaît. C'est un cadre conceptuel. Il y a dans l'écologie industrielle une certaine idée de solidarité mondiale/internationale qui lui plaît.	CAPES, A. Zonon
Le décret sur la nomenclature recense les pollutions et problèmes attendus par type d'activité => Ceci pourrait donc être utilisé comme base pour identifier les premières symbioses agro-industrielles potentielles!	DEE, Denis Toé
Filière coton : utilisation des tiges problématique car contiennent de la silice. Difficile à brûler, à composter. Ramassage demande du travail.	Roger Paré
Filière coton : redistribution des résultats financier des symbioses. Actuellement au BF, les paysans sont payés pour le coton-graine pour les fibres qu'il contient. Pourtant les graines sont utilisées et valorisées financièrement. Mais ils n'en voient pas la couleur! Pourtant il en va de la survie des usines d'égrenages. Il faut que les cotonculteurs soient bénéficiaires sinon ils vont tous arrêter la culture!!! Discussions en cours.	Roger Paré
Filière coton : utilisation des déchets de fibres de coton pour faire de l'isolation thermique.	Roger Paré
Filière coton : La zone industrielle de Bobo s'est créée autour du coton et de ses sous-	CAPES, A. Zonon

<p>produits. (huileries, tourteaux, fibres courtes utilisées pour faire des serpillières, etc). Concernant l'avenir compromis de cette filière agricole, M Zonon pense que le coton ne va pas être abandonné au Burkina pour 3 raisons :</p> <ul style="list-style-type: none"> • premièrement, il n'y a pas actuellement d'autre culture qui pourrait la remplacer comme cash crop. • ensuite, le coton est la seule culture qui est soutenue par le gouvernement. Il n'y a pas d'aide similaire pour le maïs, le mil ou le sucre. • finalement, la demande chinoise est en croissance. <p>Concernant la redistribution des fruits de la valorisation des graines de coton, les questions sont justement au coeur des négociations actuelles. Chacun veut sa part. Et les huileries veulent aussi pouvoir rester rentables... Mais tout le monde a intérêt à ce que les paysans continuent à cultiver le coton, sinon c'est toutes les activités qui en dépendent qui sont compromises.</p>	
<p>Concernant les tiges de coton, ils arrivent maintenant à les composter grâce à l'ajout d'un produit, le compost +. Mais maintenant des italiens sont venus et achètent toutes les tiges pour en faire du biogaz.</p>	DGPV, R. Ouedraogo
<p>Huiles usées : actuellement vidées dans le caniveau, les huiles de friture pourraient être utilisées comme combustible. Nécessiterait la création d'un réseau de récolte. Huiles de vidange déjà récoltées par Shell qui les revend à la Sonabel (électricité du BF). Doutes quant à la quantité disponible pour M Paré. Mais pour une ville d'1,3mio d'habitants utilisant quotidiennement de l'huile pour la friture, il doit y avoir de quoi faire.</p>	A Roger Paré, DEE Denis Toé, CAPES A. Zonon
<p>Concernant les huiles usées, les stations Shell récupèrent déjà toutes les huiles de vidange et servent de centre de collecte. Ils vendent cette huile à la Sonabel qui la brûle pour faire de l'électricité. Mais rien n'est encore fait de la chaleur dégagée! Cette huile est également utilisée par les vendeurs de porc au four.</p>	CAPES, A. Zonon
<p>Huiles : problème de la prolifération de petites unités de production non déclarées à Ouaga et Bobo. Les processus ne sont pas optimisés et beaucoup de pertes, de déchets non utilisés, voire de pollutions des eaux! Il y aurait donc certainement quelque chose à faire là!</p>	DEE, Denis Toé
<p>Il me parle d'un autre exemple qu'il a lui-même observé lorsqu'il était étudiant en Egypte. Il y a beaucoup de tanneries. Elles produisent un grand nombre de poussières et débris de cuir qui créent de grands problèmes de santé pour les employés. Ils se sont rendus compte qu'ils pouvaient très simplement récupérer ces débris à l'aide de sacs disposés correctement et réutiliser ces débris pour les ré-agglomérer et en faire un cuir de seconde qualité! Comme quoi, s'occuper de l'environnement et régler les problèmes de pollutions peut être financièrement très rentable tout en améliorant la relation de l'entreprise et de son environnement.</p>	DEE, Denis Toé
<p>M. Toé est donc convaincu de l'intérêt de l'écologie industrielle comme stratégie de développement, il a une partie des outils en mains (le décret sur la nomenclature). Mais à voir ce n'est pas de son ressort de mettre ce genre de politiques en place. Il est par ailleurs autant convaincu que moi que s'occuper de l'environnement est un investissement dans l'avenir et que ça peut être très intéressant pour les entreprises, de toutes les tailles qu'elles soient!</p>	DEE, Denis Toé

<p>Filière Fruits : Concernant l'utilisation de la matière, il y a certainement un grand potentiel d'amélioration concernant la vente de fruits et légumes qui sont produits à Bobo. En effet, la production est supérieure à ce qui peut être vendu en vente directe. Il y a donc de grandes quantités qui ne sont pas vendues et pourrissent, ne sont pas valorisées. Il y a donc beaucoup de pertes. Qu'est-il fait de ces surplus? Certainement qu'ils sont jetés aux ordures avec le reste des déchets. Il y a donc un grand potentiel d'amélioration de la filière.</p>	CAPES, A. Zonon
<p>Biocarburants et MDP : Concernant le Jatropha, le PNGT (programme national de gestion du terroir) a mis en place un projet en ce sens à Kaya qui fait partie des Mécanismes de Développement Propre. L'huile est utilisée pour les motopompes destinées à l'irrigation.</p>	CAPES, A. Zonon
<p>La réflexion en amont peut avoir des effets bénéfiques financièrement. Il pense aux raffineries qui en Californie ont été obligées de traiter l'essence pour la désulfurer. Comme ils ne voulaient pas faire les investissements, ils ont délocalisé la production d'essence. Mais maintenant la quantité n'est plus suffisante donc ils ont été obligés de mettre ça en place maintenant. Ceci crée de l'emploi, et une nouvelle activité. Le soufre lui-même pourra ainsi être réutilisé d'une manière ou d'une autre alors que si on s'intéressait à ce problème uniquement au niveau des voitures, la récupération de cette matière dans les catalyseurs poserait bien plus de problèmes et ne serait sûrement jamais faite!</p>	CAPES, A. Zonon
<p>Grand intérêt à en savoir plus concernant l'écologie industrielle car il y voit un réel plus pour le développement du pays! Il a très bien compris la logique qui se trouve derrière les symbioses industrielles (c'est même lui qui a commencé par me parler de "synergies" quand je lui ai posé la question de l'intérêt de l'écologie industrielle). Je lui ai parlé de l'exemple de Kalundborg, comme exemple mythique. Je pense qu'il y voit un moyen de mettre un cadre conceptuel à quelque chose qu'il sentait comme bon intuitivement, et donc de mieux justifier ces logiques de priorités. Pour l'instant le développement du pays est vu au travers des 12 filières identifiées comme pôles de compétitivité selon les régions. L'écologie industrielle va plus loin en proposant d'allonger le cycle de matières de manière intersectorielle. On sort donc de la logique linéaire habituelle.</p>	CAPES, A. Zonon
<p>Céréales: typiquement les tiges ne sont pas utilisées ou seulement en faible quantité. (A mon avis c'est relatif... car il me semble que les paysans les utilisent pour la nourriture du bétail, sur les champs-mêmes).</p>	DGPV, R. Ouedraogo
<p>Il voit aussi dans cette logique l'association de cultures adaptées les unes aux autres lors de la rotation de culture. Typiquement les systèmes coton – élevage – céréales.</p>	DGPV, R. Ouedraogo
<p>Concernant le travail sur les MDP, la question est "comment attirer les projets MDP dans un pays dont la situation de base est peu polluante et ne peut que tendre vers une situation moins bonne?". Sa réponse est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il faut développer une méthodologie adaptée pour les projets forestier (<i>est-ce vraiment intéressant au Burkina???</i>) • Mettre en place des projets avec la SONABEL, entreprise d'Etat possédant le monopole de l'électricité. • Mise en place de projets liés à la gestion des déchets. En groupant différents acteurs, il est possible d'arriver à un projet MDP. Il serait notamment possible de produire du biogaz par exemple. 	Aki Kogachi PNUD
	Aki Kogachi PNUD

<p>Les blocages pour la réalisation des MDP au Burkina sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la langue : tous les documents sont en anglais, et peu nombreuses sont les personnes qui maîtrisent suffisamment cette langue ici au Burkina. Ils ont donc besoin d'un soutien logistique du PNUD à ce niveau. • Un autre problème est le manque de méthodologie adaptée, et de coordination des actions. Par exemple pour les biocarburants, tout le monde (tous les Ministères) est favorable mais il n'y a pas de coordination et chacun fait ça dans son coin à sa manière, de manière à être bénéficiaire des résultats. Par exemple, le ministère de l'Agriculture fait des choses dans son coin sans consulter le Min. de l'Environnement et vice-versa. De plus pour les biocarburants, le lobby Shell/Total n'y est pas du tout favorable. 	
<p>Concernant les biocarburants, le Jatropha est vu comme un potentiel d'avenir! Mais le problème des MDP c'est qu'ils favorisent une entreprise qui gère une activité et non pas une région! Il reste donc le souci de redistribution des moyens financiers...</p>	Aki Kogachi PNUD
<p>Concernant les symbioses, la SONABEL détient effectivement le monopole de l'électricité. Point. Il n'y a pas de loi concernant les déchets</p>	DGDI, Adama Traoré

Mécompréhension de l'écologie industrielle

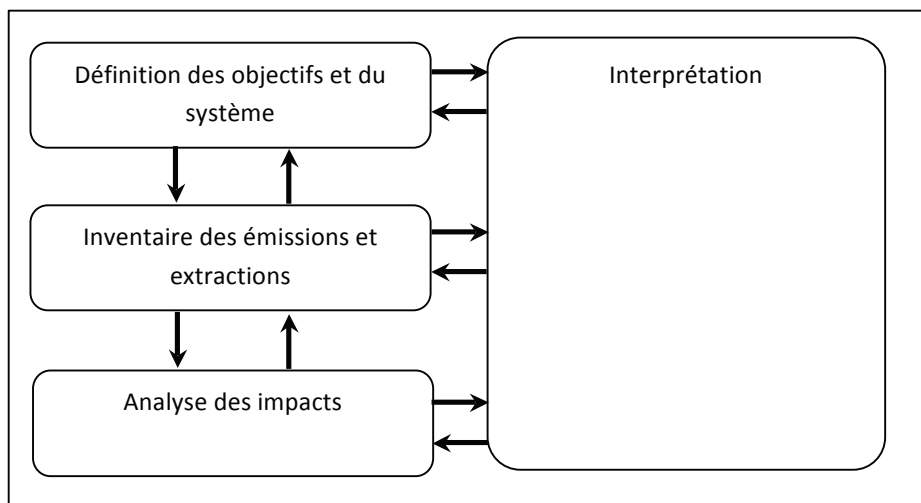
Information	Source
<p>Se libérer de la dépendance aux carburants pétroliers qui sont et vont devenir de plus en plus cher, en utilisant de l'huile de palme importée de Côte d'Ivoire</p>	Roger Paré

Annexe 2 : Analyse du Cycle de vie – Etapes et structure

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) évalue l'impact environnemental d'un produit, d'un service ou d'un système en considérant toutes les étapes de son cycle de vie. Elle permet d'identifier les points sur lesquels un produit peut être amélioré et vise à prévenir les impacts liés aux activités humaines [Jolliet *et al.* 2005].

Cette annexe est partiellement tirée du chapitre 2 de l'ouvrage de Jolliet *et al.* [2005], ainsi que de la norme internationale ISO 14040 et ISO 14044 [ISO 2006a, 2006b].

L'ACV trouve ses origines dans l'ingénierie, et son utilisation est associée au consulting industriel, avec pour objectif de quantifier les charges environnementales imposées par les procédés et produits industriels. Des normes ISO 14040-47 ont été édités afin de définir clairement la méthodologie. Selon la définition des normes ISO et de la SETAC, l'ACV s'effectue en quatre phases : la définition des objectifs et du système, l'inventaire des émissions et des extractions, l'analyse de l'impact, et l'interprétation [Jolliet *et al.* 2005].



Ce type d'analyse se base uniquement sur les flux de matière et de substance pour déterminer les impacts environnementaux.

Cette méthodologie a été développée afin d'évaluer et de comparer les impacts environnementaux liés au cycle de vie d'un *produit* et de différentes alternatives en se basant sur la même unité de fonction. Elle permet de déterminer à quelle étape du cycle de vie les impacts sont les plus importants et quelles en sont les raisons.

Définition des objectifs et du système

Cette étape permet de poser le problème, de définir les objectifs et le champ de l'étude. On y définit la fonction du système, l'unité fonctionnelle à laquelle les émissions et extractions sont rapportées, les limites du système. On y décrit également les scénarios ainsi que les hypothèses qui sont faites.

Inventaire

A cette étape, les émissions polluantes dans l'air, l'eau et le sol sont quantifiées, de même que les extractions de matières premières renouvelables et non renouvelables. Ceci est effectué pour chaque scénario séparément.

Analyse des impacts

La *Life Cycle Initiative* est un partenariat de l'UNEP et de la SETAC regroupant des chercheurs de nombreux pays du domaine de l'Analyse du Cycle de Vie. Ils ont notamment défini des indicateurs permettant d'évaluer les impacts environnementaux des flux de substances. Ces indicateurs sont structurés à deux niveaux : les indicateurs intermédiaires et les dommages.

A cette étape, les inventaires réalisés à l'étape précédente sont utilisés pour évaluer leurs impacts sur l'environnement. Elle se réalise en trois parties. La première consiste à classifier les émissions en déterminant lesquelles contribuent à quels impacts environnementaux. La seconde consiste à caractériser les impacts intermédiaires provoqués en pondérant les émissions à l'intérieur de chacune des catégories d'impact. La dernière consiste à caractériser les dommages, qui regroupent plusieurs catégories d'impacts intermédiaires par thématiques.

Interprétation

Cette dernière étape consiste à interpréter les résultats obtenus dans chacune des étapes précédentes ainsi qu'à en évaluer l'incertitude. Les points clés et les options d'amélioration du produit étudié sont identifiés. Des études de sensibilité des résultats sont effectuées pour identifier les paramètres les plus influents.

Ces quatre étapes sont réalisées de manière itérative, c'est-à-dire qu'une première analyse superficielle est généralement réalisée et sert à améliorer la définition des objectifs et les différentes étapes pour l'analyse approfondie qui est réalisée ensuite.

Annexe 3 : Analyse des flux de matière

La mise en pratique des concepts de l'Ecologie Industrielle passe par une étude du métabolisme industriel, que l'on nomme également analyse des flux de matières (AFM)¹. Il s'agit en premier lieu de quantifier tous les flux de matières entrants et sortants, puis d'analyser ces flux [Brunner 2002; Bringezu 2003; Hinterberger *et al.* 2003].

Il y a généralement deux types d'approches, qui répondent à des besoins différents :

- l'approche par région (pays) ou par secteur d'industrie/économie
- et une approche par produit/fonction.

Les AFM sont souvent calquées sur les bases de données économiques d'entreprise ou nationales (économie physique). C'est pourquoi, il faut faire très attention aux "flux cachés" qui n'ont pas de valeur monétaire, mais qui existent pourtant et qui ont une certaine importance environnementale.

De manière pratique, l'Analyse des Flux de Matière est utilisée pour [Daniels and Moore 2001; Daniels 2002] :

- 1) La mesure et l'analyse de la durabilité des conséquences des pressions humaines sur l'environnement
- 2) L'identification exhaustive des liens entre les activités économiques et les flux environnementaux, et des données utiles pour la formulation de stratégies pour réduire les flux de matière, énergie et déchets.
- 3) La provision de procédures et données nécessaires pour l'analyse et le monitoring de politiques stratégiques environnementales.

mais aussi :

- 4) La création de bases de données régionales qui répertorient pour chaque entreprise les flux consommés et émis afin de permettre à celles qui le veulent de créer des synergies entre elles.

Quelques techniques AFM utilisées

Daniels et Moore [2001; 2002] ont recensé environ neuf types de AFM qu'ils ont décrit et comparé.

Les types qui ont une approche par région :

- TMRO : total material requirement and output , or Bulk MFA (Wuppertal Institute) – Analyse des flux totaux
- "Bulk internal flow" national MFA (IFF model) – Analyse des flux nationaux internes

¹ ou material flow analysis en anglais (MFA)

- SFA : substance flow analyses – Analyse des flux de substances
- PIOT : physical input-output tables – Tables entrant/sortant physiques
- EFA : ecological footprint analysis – Analyse de l'empreinte écologique
- ES : environmental spaces models – Modèles espaces environnementaux

Les types qui ont une approche par produit :

- LCA : life cycle assessment – Analyse du Cycle de Vie
- MIPS : materials intensity per unit service – Intensité de matière par unité de service
- SPI : sustainable process index – Indice de durabilité des procédés.

Le **Total Material Requirement and Output** (TMRO) est une approche qui quantifie les échanges de flux agrégés de matière entre les domaines économiques nationaux et l'environnement. Les flux de matière sont traités de manière agrégée et consistent en l'extraction domestique de ressources et imports (inputs) et les émissions domestiques et l'exportation (ouputs). Cette technique inclut la mesure de tous les flux de matière à toutes les étapes du cycle de vie de l'output économique, en incluant les flux cachés. Le TMRO est l'analyse de la masse totale annuelle des inputs et outputs pour l'entier du système économique national, à un relativement haut niveau d'agrégation.

Le **Bulk internal flow MFA** (IFF models) est un modèle qui se concentre sur les flux de matière entrant et sortant (input output) ainsi qu'à l'accumulation de stocks. Cette approche est semi-agrégée. Elle a pour but de révéler la nature fondamentale des sources et flux des systèmes économiques et donne un survol de la nature structurelle de la base matérielle (ou physique) de l'économie.

Les **Physical Input Output Tables** (PIOT) permettent une analyse détaillée des flux au niveau d'un pays. Cette méthode se base sur les tables I/O économiques traditionnelles qui expriment pour le pays les liens entre chaque type d'industrie en termes d'argent investi de l'une chez l'autre. La méthode PIOT suit sur tout le cycle de vie comment les ressources naturelles entrent, sont transformées et par la suite comment les produits sont déplacés dans l'économie, utilisées et finalement retournent à l'environnement naturel sous forme de résidu. Cela comprend l'investigation détaillée des flux physiques intersectoriels des ressources environnementales, matières premières et résidus. Ces transactions se trouvent sous la forme de matrices.

Le **Substance Flow Analysis** (SFA) regarde précisément les flux de matière d'une seule substance, définie chimiquement ou d'un groupe limité de substances à travers le métabolisme d'une région géographique prédéfinie.

L'empreinte écologique (**Ecological Footprint Analysis**) est un indicateur unique de durabilité de l'économie humaine par rapport à la capacité de la Terre à fournir des ressources. Cette méthode calcule les matières et énergies nécessaires pour une année pour

un pays, et associé à chacun une surface terrestre nécessaire à la production de ces ressources. En additionnant le tout, on détermine de nombre de "planètes Terre" qui seraient nécessaires si toute la population mondiale utilisait ces ressources de la manière du pays étudié.

La fonction principale de l'*Environmental space* est de quantifier le développement durable en comparant la demande de ressource à l'espace environnemental disponible. Un premier critère est la quantité de différentes catégories de ressources naturelles qui peuvent être exploitées en un temps donné par l'être humain sans compromettre la quantité ou la qualité qui sera accessible pour les générations futures. Cette méthode ne cherche pas à convertir tous les impacts environnementaux en une seule unité, mais elle analyse séparément la durabilité de l'énergie, matières premières, ressources biologiques, stockage et assimilation des déchets et les fonctions fondamentales de maintien de la vie.

L'approche *Material Intensity per Unit Service* identifie pour un produit ou une fonction donnée, une seule mesure de la masse de matière première et énergie requises pour tout le cycle de vie. La mesure MIPS finale est exprimée comme le ratio de la masse de matière et énergie qui entrent en input sur la mesure physique du service fournit. Cette intensité de matière a comme but explicite de capturer le "ecological rucksack" ou la totalité de la masse de matière consommée associé au cycle de vie d'un produit et de ses composants.

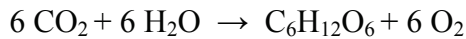
L'approche par l'analyse du cycle de vie (*Life Cycle Assessment*) est un outil de management environnemental pour identifier et comparer sur le cycle de vie entier les impacts environnementaux d'un produit. Cette méthode considère les flux de matières et d'énergie qui entrent et qui sortent en relation avec le cycle de vie d'un produit, en incluant les flux cachés sans valeur monétaire. Une méthodologie très claire a été définie dans la norme ISO 14040 et suivantes. Il s'agit donc premièrement de définir les buts et objectifs (unité fonctionnelle, limite du système, ...) puis d'établir un inventaire des ressources consommées et des substances émises (de manière totalement désagrégée) puis de pondérer ces consommations et émissions à l'aide d'un modèle, afin de déterminer l'impact environnemental à partir d'une dizaine d'indicateurs. La dernière étape est d'analyser ces impacts et de les interpréter, d'identifier de quelle étape du cycle de vie ils proviennent et comment il serait possible de les réduire.

Le *Sustainable Process Index* ressemble fortement à l'empreinte écologique dans le sens qu'il évalue sur un indicateur agrégé de m² de terre, l'utilisation d'un procédé particulier, et il le compare à d'autres procédés ou technologies.

Annexe 4 : Calcul du bilan de l'eau et du CO₂ de la photosynthèse

Dans le chapitre 5, nous avons cherché à déterminer la quantité d'eau minimale consommée pour la croissance des plantes. Pour cela, on peut se baser sur l'équation de la photosynthèse qui est la suivante:

Equation stœchiométrique de la photosynthèse:



Les masses atomiques des éléments sont proportionnellement:

$$M_{\text{C}} = 12\text{u} ; M_{\text{O}} = 16\text{u} ; M_{\text{H}} = 1\text{u}$$

Les masses des composés sont donc:

$$m(\text{CO}_2) = 12 + 16 + 16 = 44\text{u}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 1 + 1 + 16 = 18\text{u}$$

$$m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 6 \cdot 12 + 12 \cdot 1 + 6 \cdot 16 = 180\text{u}$$

$$m(\text{O}_2) = 2 \cdot 16 = 32\text{u}$$

On a donc le bilan de masse suivant :

$$\begin{array}{rclcl} 6 \cdot m(\text{CO}_2) & + & 6 \cdot m(\text{H}_2\text{O}) & = & m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) & + & m(\text{O}_2) \\ \text{soit : } & 6 \cdot 44\text{u} & + & 6 \cdot 18\text{u} & = & 180\text{u} & + & 6 \cdot 32\text{u} \\ \text{soit : } & 264\text{u} & + & 108\text{u} & = & 180\text{u} & + & 192\text{u} \end{array}$$

Le CO₂ correspond au gaz carbonique consommé, H₂O à l'eau consommée, C₆H₁₂O₆ correspond à la biomasse produite et O₂ à l'oxygène relâché.

Ainsi, on peut déterminer la quantité d'eau consommée ($Q_{\text{H}_2\text{O}} \text{ consommée}$) lors de la photosynthèse car on connaît la quantité de biomasse totale produite ($Q_{\text{biomasse totale}}$) :

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} \text{ consommée} = Q_{\text{biomasse totale}} \cdot 108/180$$

De même, on peut déterminer la quantité de CO₂ consommée ($Q_{\text{CO}_2} \text{ consommée}$) lors de la photosynthèse :

$$Q_{\text{CO}_2} \text{ consommée} = Q_{\text{biomasse totale}} \cdot 264/180$$

La masse totale de biomasse produite, $Q_{\text{biomasse totale}}$ est de 8144 tonnes. Ainsi :

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} \text{ consommée} = M_{\text{biomasse totale}} \cdot 108/180 = 8144 \cdot 0.6 = \mathbf{4'886 \text{ tonnes H}_2\text{O}}$$

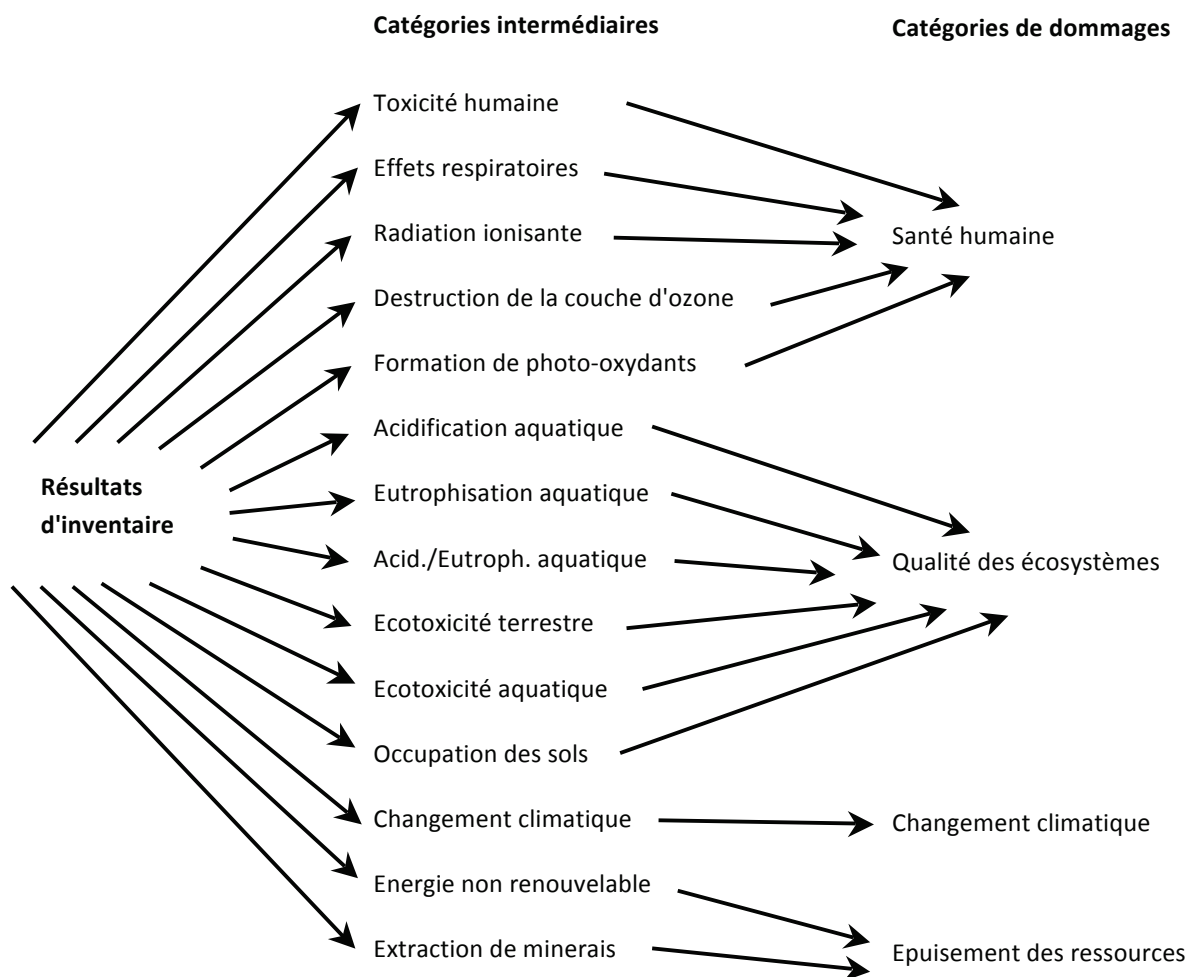
$$Q_{\text{CO}_2} \text{ consommée} = M_{\text{biomasse totale}} \cdot 264/180 = 8144 \cdot 1.47 = \mathbf{11'972 \text{ tonnes CO}_2}$$

Annexe 5 : Détails sur la méthode Impact 2002+

La méthode Impact 2002+ [Jolliet *et al.* 2003] permet d'analyser les impacts aussi bien au niveau intermédiaire qu'au niveau des dommages. Elle évalue spécifiquement les impacts sur la santé humaine et sur la qualité des écosystèmes en adaptant les derniers concepts de l'analyse de risque aux spécificités de l'ACV. Cette méthode suit le principe proposé dans le cadre de la Life Cycle Initiative.

Dans un premier temps, les résultats d'inventaire sont groupés en 14 catégories d'impacts intermédiaires, présentant des mécanismes ou des voies d'impact similaires. Ces catégories intermédiaires sont ensuite affectées à quatre catégories de dommages, représentant les changements de qualité de l'environnement.

Cette méthode considère l'ensemble des effets d'une émission ou d'une extraction, intégrée sur le long terme (par exemple 500 ans) [Jolliet *et al.* 2005].



Pour l'étude réalisée au chapitre 5 de cette thèse, la version 2.06 a été utilisée. Les facteurs de caractérisation des émissions pour les catégories d'impact principales utilisées dans ce travail sont précisés ci-dessous.

5.1. Ecotoxicité aquatique et écotoxicité terrestre

Substance de référence : TEG water et TEG soil.

Compartment	Sous-compartment	Substance	CAS number	Ecotoxicité aquatique kg TEG water eq / kg	Ecotoxicité terrestre kg TEG soil eq / kg
Air	(unspecified)	1-(3-Chloroallyl)-3,5,7-triaza-1-azoniaadamantane chloride	004080-31-3	4.141131402	7.704565701
Water	(unspecified)	1-(3-Chloroallyl)-3,5,7-triaza-1-azoniaadamantane chloride	004080-31-3	2279.714358	0.001152979
Soil	(unspecified)	1-(3-Chloroallyl)-3,5,7-triaza-1-azoniaadamantane chloride	004080-31-3	436.5181054	1328.492574
Air	(unspecified)	1,2-Benzisothiazolin-3-one	002634-33-5	266.9239099	864.098935
Water	(unspecified)	1,2-Benzisothiazolin-3-one	002634-33-5	16890.46772	0.017368444
Soil	(unspecified)	1,2-Benzisothiazolin-3-one	002634-33-5	1696.243149	11159.85191
Air	(unspecified)	1,3-Propanediol, 2-hydroxymethyl-2-nitro-	000126-11-4	4.979571695	22.67825442
Water	(unspecified)	1,3-Propanediol, 2-hydroxymethyl-2-nitro-	000126-11-4	294.0706581	0.000000318
Soil	(unspecified)	1,3-Propanediol, 2-hydroxymethyl-2-nitro-	000126-11-4	35.16610941	294.9241564
Air	(unspecified)	2-n-Octyl-4-isothiazolin-3-one	026530-20-1	2807.658276	831.3799383
Water	(unspecified)	2-n-Octyl-4-isothiazolin-3-one	026530-20-1	467534.6659	0.044525419
Soil	(unspecified)	2-n-Octyl-4-isothiazolin-3-one	026530-20-1	7331.390621	17823.20235
Air	(unspecified)	2,4-D	000094-75-7	14.39072851	3.789213754
Water	(unspecified)	2,4-D	000094-75-7	724.2043267	1.32E-10
Soil	(unspecified)	2,4-D	000094-75-7	218.5191889	84.70102886
Air	(unspecified)	2,4-D Butoxyethyl ester	001929-73-3	1.795827524	0.015875426
Water	(unspecified)	2,4-D Butoxyethyl ester	001929-73-3	361.9480623	0.000000123
Soil	(unspecified)	2,4-D Butoxyethyl ester	001929-73-3	0.0374866	0.35721537
Air	(unspecified)	2,4-D Isooctyl ester	025168-26-7	13.53917649	0.001695367
Water	(unspecified)	2,4-D Isooctyl ester	025168-26-7	6927.337446	0.0000187
Soil	(unspecified)	2,4-D Isooctyl ester	025168-26-7	7.359431794	0.039384496
Air	(unspecified)	2,4-D Isopropyl ester	000094-11-1	16.25609454	0.345636061
Water	(unspecified)	2,4-D Isopropyl ester	000094-11-1	4934.227754	0.000105555
Soil	(unspecified)	2,4-D Isopropyl ester	000094-11-1	5.771408016	6.429534495
Air	(unspecified)	2,4-D Propylene glycol butyl ether ester	001320-18-9	6.575980379	0.02503599
Water	(unspecified)	2,4-D Propylene glycol butyl ether ester	001320-18-9	713.7743377	2.58E-08
Soil	(unspecified)	2,4-D Propylene glycol butyl ether ester	001320-18-9	0.017127713	0.414930055
Air	(unspecified)	2,4-D, diethanolamine salt	005742-19-8	7.721115289	1.137035169
Water	(unspecified)	2,4-D, diethanolamine salt	005742-19-8	840.7189519	0.00000268
Soil	(unspecified)	2,4-D, diethanolamine salt	005742-19-8	6.647777646	15.48569874
Air	(unspecified)	2,4-D, dimethylamine salt	002008-39-1	0.007977944	0.036668188
Water	(unspecified)	2,4-D, dimethylamine salt	002008-39-1	0.547579475	4.85E-17
Soil	(unspecified)	2,4-D, dimethylamine salt	002008-39-1	0.0000984	0.453697097
Air	(unspecified)	2,4-D, isopropylamine salt	005742-17-6	0.789202693	0.116220414
Water	(unspecified)	2,4-D, isopropylamine salt	005742-17-6	85.93287911	0.00000274
Soil	(unspecified)	2,4-D, isopropylamine salt	005742-17-6	0.679493029	1.58284842
Air	(unspecified)	2,4-DP, Isooctyl ester	028631-35-8	30.17978897	0.002370648
Water	(unspecified)	2,4-DP, Isooctyl ester	028631-35-8	8379.53434	0.0000304
Soil	(unspecified)	2,4-DP, Isooctyl ester	028631-35-8	13.64551173	0.058495735
Air	(unspecified)	4,4-Dimethyloxazolidine	051200-87-4	0.686668806	0.293036126
Water	(unspecified)	4,4-Dimethyloxazolidine	051200-87-4	625.3763776	0.002532072
Soil	(unspecified)	4,4-Dimethyloxazolidine	051200-87-4	19.12878621	161.6159643
Air	(unspecified)	4,5-Dichloro-2-octyl-3(2H)-isothiazolone	064359-81-5	5624.523734	138.2758559
Water	(unspecified)	4,5-Dichloro-2-octyl-3(2H)-isothiazolone	064359-81-5	1299983.226	0.060050671
Soil	(unspecified)	4,5-Dichloro-2-octyl-3(2H)-isothiazolone	064359-81-5	2589.164727	3364.293029
Air	(unspecified)	Acenaphthene	000083-32-9	161.944747	1.182017134
Water	(unspecified)	Acenaphthene	000083-32-9	148600.4253	0.327126534
Soil	(unspecified)	Acenaphthene	000083-32-9	759.6638767	549.4552951
Air	(unspecified)	Acenaphthylene	000208-96-8	1.670231793	0.017181653
Water	(unspecified)	Acenaphthylene	000208-96-8	9282.03607	0.001020917
Soil	(unspecified)	Acenaphthylene	000208-96-8	13.88328886	32.58403845
Air	(unspecified)	Acephate	030560-19-1	76.11798715	17.74337325
Water	(unspecified)	Acephate	030560-19-1	8042.331561	0.000000303
Soil	(unspecified)	Acephate	030560-19-1	629.8367354	370.8599815
Air	(unspecified)	Acetaldehyde	000075-07-0	0.447568841	0.075602847
Water	(unspecified)	Acetaldehyde	000075-07-0	228.5800371	0.003361128
Soil	(unspecified)	Acetaldehyde	000075-07-0	2.411083945	48.18825399
Air	(unspecified)	Acetic acid	000064-19-7	3.882532735	19.21368839
Water	(unspecified)	Acetic acid	000064-19-7	202.0322578	0.0000435
Soil	(unspecified)	Acetic acid	000064-19-7	21.93107207	190.96237556
Air	(unspecified)	Acetic acid, trifluoro-	000076-05-1	0.04095136	0.150802031
Water	(unspecified)	Acetic acid, trifluoro-	000076-05-1	2.103015261	1.77E-11
Soil	(unspecified)	Acetic acid, trifluoro-	000076-05-1	0.245501908	1.635831446
Air	(unspecified)	Acetochlor	034256-82-1	672.5436049	51.73893791
Water	(unspecified)	Acetochlor	034256-82-1	128990.8073	0.009556603
Soil	(unspecified)	Acetochlor	034256-82-1	2003.491165	1338.881535
Air	(unspecified)	Acetone	000067-64-1	0.075369135	0.013821926
Water	(unspecified)	Acetone	000067-64-1	8.622075745	0.000816056
Soil	(unspecified)	Acetone	000067-64-1	0.197245725	1.899356151
Air	(unspecified)	Acetophenone	000098-86-2	4.819716931	0.305040809
Water	(unspecified)	Acetophenone	000098-86-2	475.1404024	0.012171037
Soil	(unspecified)	Acetophenone	000098-86-2	13.39638617	24.75705334
Air	(unspecified)	Acibenzolar-s-methyl	135158-54-2	172.632605	11.51896256
Water	(unspecified)	Acibenzolar-s-methyl	135158-54-2	18848.11413	0.003547478
Soil	(unspecified)	Acibenzolar-s-methyl	135158-54-2	100.3717858	145.3331058
Air	(unspecified)	Acifluorfen sodium salt	062476-59-9	52.40643453	94.48357658
Water	(unspecified)	Acifluorfen sodium salt	062476-59-9	1963.585672	0.0000422
Soil	(unspecified)	Acifluorfen sodium salt	062476-59-9	495.2233099	1298.628719
Air	(unspecified)	Acrolein	000107-02-8	901.3402986	88.49011298
Water	(unspecified)	Acrolein	000107-02-8	933832.2761	20.41380362
Soil	(unspecified)	Acrolein	000107-02-8	20893.41751	229462.647

Compartiment	Sous-compartiment	Substance	CAS number	Ecotoxicité aquatique kg TEG water eq / kg	Ecotoxicité terrestre kg TEG soil eq / kg
Air	(unspecified)	Acrylamide	000079-06-1	1.09889883	8.635048504
Water	(unspecified)	Acrylamide	000079-06-1	100.9780745	0.0000106
Soil	(unspecified)	Acrylamide	000079-06-1	4.888639522	108.2018795
Air	(unspecified)	Alachlor	015972-60-8	670.3548814	17.92443038
Water	(unspecified)	Alachlor	015972-60-8	137865.7871	0.001233605
Soil	(unspecified)	Alachlor	015972-60-8	775.1769058	512.3168253
Air	(unspecified)	Aldicarb	000116-06-3	4178.547959	7162.15204
Water	(unspecified)	Aldicarb	000116-06-3	315114.7936	0.15863895
Soil	(unspecified)	Aldicarb	000116-06-3	104045.8216	235600.3625
Air	(unspecified)	Aldrin	000309-00-2	6124.274881	38.74000482
Water	(unspecified)	Aldrin	000309-00-2	15932771.34	31.28501126
Soil	(unspecified)	Aldrin	000309-00-2	969477.8635	295932.258
Air	(unspecified)	Allethrin	000584-79-2	15701.66359	23.42017771
Water	(unspecified)	Allethrin	000584-79-2	11254440.51	0.01852589
Soil	(unspecified)	Allethrin	000584-79-2	5098.937791	2312.67469
Air	(unspecified)	Aluminium	007429-90-5	493335.7815	126486.3525
Water	(unspecified)	Aluminium	007429-90-5	3594298.42	2.27E-08
Soil	(unspecified)	Aluminium	007429-90-5	3496283.66	758275.0998
Air	(unspecified)	Ametryn	000834-12-8	2840.610576	69.46798448
Water	(unspecified)	Ametryn	000834-12-8	198534.5492	0.00000184
Soil	(unspecified)	Ametryn	000834-12-8	48452.77901	1791.963869
Air	(unspecified)	Amitraz	033089-61-1	71.72908015	0.016668385
Water	(unspecified)	Amitraz	033089-61-1	24783.42882	0.0000021
Soil	(unspecified)	Amitraz	033089-61-1	756.0782678	0.863368572
Air	(unspecified)	Amitrole	000061-82-5	10.00969616	43.21560131
Water	(unspecified)	Amitrole	000061-82-5	846.9112226	5.35E-11
Soil	(unspecified)	Amitrole	000061-82-5	96.07412025	845.9628317
Air	(unspecified)	Ammonia	007664-41-7	3.901162726	9.802261176
Water	(unspecified)	Ammonia	007664-41-7	527.0182074	0.02305036
Soil	(unspecified)	Ammonia	007664-41-7	8.689721229	1522.045944
Air	(unspecified)	Ancymidol	012771-68-5	112.9379352	46.88837539
Water	(unspecified)	Ancymidol	012771-68-5	9166.212786	0.00000618
Soil	(unspecified)	Ancymidol	012771-68-5	1106.659055	1077.089796
Air	(unspecified)	Anilazine	000101-05-3	133.002212	1.544076514
Water	(unspecified)	Anilazine	000101-05-3	45438.55561	2.59E-10
Soil	(unspecified)	Anilazine	000101-05-3	9.828296395	90.69933548
Air	(unspecified)	Aniline, 3,4-dichloro-	000095-76-1	57458.04905	938.1486544
Water	(unspecified)	Aniline, 3,4-dichloro-	000095-76-1	1417978.029	0.527575086
Soil	(unspecified)	Aniline, 3,4-dichloro-	000095-76-1	642839.7738	12611.95802
Air	(unspecified)	Anthracene	000120-12-7	3746.213627	9.682215259
Water	(unspecified)	Anthracene	000120-12-7	1488078.451	2.097875653
Soil	(unspecified)	Anthracene	000120-12-7	5734.237491	1335.149357
Air	(unspecified)	Antimony	007440-36-0	296465.3345	20145.92976
Water	(unspecified)	Antimony	007440-36-0	2103277.327	1.22E-09
Soil	(unspecified)	Antimony	007440-36-0	2101721.146	116609.2114
Air	(unspecified)	Antimycin A	001397-94-0	310207.8967	1415.088088
Water	(unspecified)	Antimycin A	001397-94-0	104169670.1	4.8E-15
Soil	(unspecified)	Antimycin A	001397-94-0	36499.30164	81754.83822
Air	(unspecified)	Arsenic	007440-38-2	54844.6133	418673.8914
Soil	(unspecified)	Arsenic	007440-38-2	387485.1445	2431756.872
Water	(unspecified)	Arsenic, ion	017428-41-0	388044.8119	0
Air	(unspecified)	Asulam	003337-71-1	0.000310997	0.002710923
Water	(unspecified)	Asulam	003337-71-1	0.061655379	3.27E-15
Soil	(unspecified)	Asulam	003337-71-1	0.00000296	0.068992136
Air	(unspecified)	Atrazine	001912-24-9	30690.12666	95.27795498
Water	(unspecified)	Atrazine	001912-24-9	2483419.231	0.000000697
Soil	(unspecified)	Atrazine	001912-24-9	1020550.439	3974.077824
Air	(unspecified)	Avermectin B1	065195-55-3	1687.143328	4.255389411
Water	(unspecified)	Avermectin B1	065195-55-3	2751464.939	3.07E-23
Soil	(unspecified)	Avermectin B1	065195-55-3	1906.707247	1182.043618
Air	(unspecified)	Azinphos-methyl	000086-50-0	2758.536014	3337.627491
Water	(unspecified)	Azinphos-methyl	000086-50-0	872822.0151	0.000851916
Soil	(unspecified)	Azinphos-methyl	000086-50-0	73681.59919	258594.3026
Air	(unspecified)	Azoxystrobin	131860-33-8	324.4231089	65.10945395
Water	(unspecified)	Azoxystrobin	131860-33-8	54106.13804	9.41E-09
Soil	(unspecified)	Azoxystrobin	131860-33-8	820.7491956	2047.172105
Air	(unspecified)	Barium	007440-39-3	11339.37002	502.9090753
Water	(unspecified)	Barium	007440-39-3	80528.47357	1.53E-10
Soil	(unspecified)	Barium	007440-39-3	80490.26566	2908.009841
Air	(unspecified)	Bendiocarb	022781-23-3	59.80333442	99.64379323
Water	(unspecified)	Bendiocarb	022781-23-3	9008.401845	0.000308125
Soil	(unspecified)	Bendiocarb	022781-23-3	21.41461162	1732.178704
Air	(unspecified)	Benfluralin	001861-40-1	24.66330754	0.020493384
Water	(unspecified)	Benfluralin	001861-40-1	88902.48764	0.004643729
Soil	(unspecified)	Benfluralin	001861-40-1	33.95845077	4.638644625
Air	(unspecified)	Benomyl	017804-35-2	171.4058681	200.350368
Water	(unspecified)	Benomyl	017804-35-2	20438.81893	0.00000408
Soil	(unspecified)	Benomyl	017804-35-2	4308.064791	9040.311249
Air	(unspecified)	Bensulfuron methyl ester	083055-99-6	1.290803898	0.631598821
Water	(unspecified)	Bensulfuron methyl ester	083055-99-6	467.8556761	7.75E-14
Soil	(unspecified)	Bensulfuron methyl ester	083055-99-6	58.89458052	67.66304806
Air	(unspecified)	Bensulide	000741-58-2	150.4748522	0.798728265
Water	(unspecified)	Bensulide	000741-58-2	79593.1215	0.0000186
Soil	(unspecified)	Bensulide	000741-58-2	29.39630776	63.4394077
Air	(unspecified)	Bentazone	025057-89-0	13.45572712	2.111589577
Water	(unspecified)	Bentazone	025057-89-0	1011.784652	4.05E-09
Soil	(unspecified)	Bentazone	025057-89-0	383.817071	78.18349945

Compartment	Sous-compartment	Substance	CAS number	Ecotoxicité aquatique kg TEG water eq / kg	Ecotoxicité terrestre kg TEG soil eq / kg
Air	(unspecified)	Benzene	000071-43-2	0.024390965	0.004721804
Water	(unspecified)	Benzene	000071-43-2	1081.978581	0.000676997
Soil	(unspecified)	Benzene	000071-43-2	2.351949562	58.88091606
Air	(unspecified)	Benzene, 1,2-dichloro-	000095-50-1	20.31488057	0.637120464
Water	(unspecified)	Benzene, 1,2-dichloro-	000095-50-1	39416.9454	0.362220211
Soil	(unspecified)	Benzene, 1,2-dichloro-	000095-50-1	149.7820447	260.5000265
Air	(unspecified)	Benzene, 1,2,3-trichloro-	000087-61-6	129.4252737	1.409393551
Water	(unspecified)	Benzene, 1,2,3-trichloro-	000087-61-6	179034.3291	0.773228362
Soil	(unspecified)	Benzene, 1,2,3-trichloro-	000087-61-6	421.4067595	231.0045718
Air	(unspecified)	Benzene, 1,2,3,4-tetrachloro-	000634-66-2	1618.598946	6.494258683
Water	(unspecified)	Benzene, 1,2,3,4-tetrachloro-	000634-66-2	789220.7936	4.944420285
Soil	(unspecified)	Benzene, 1,2,3,4-tetrachloro-	000634-66-2	2318.78961	279.6938682
Air	(unspecified)	Benzene, 1,2,4-trichloro-	000120-82-1	89.82133172	1.041554345
Water	(unspecified)	Benzene, 1,2,4-trichloro-	000120-82-1	139271.0767	0.572093294
Soil	(unspecified)	Benzene, 1,2,4-trichloro-	000120-82-1	307.1366267	179.7693348
Air	(unspecified)	Benzene, 1,4-dichloro-	000106-46-7	20.36853326	0.713972802
Water	(unspecified)	Benzene, 1,4-dichloro-	000106-46-7	48811.78905	0.406415236
Soil	(unspecified)	Benzene, 1,4-dichloro-	000106-46-7	165.2455187	322.7552622
Air	(unspecified)	Benzene, chloro-	000108-90-7	5.07283419	0.336093807
Water	(unspecified)	Benzene, chloro-	000108-90-7	30578.14216	0.19793426
Soil	(unspecified)	Benzene, chloro-	000108-90-7	158.6997116	824.1216203
Air	(unspecified)	Benzene, ethyl-	000100-41-4	0.11075745	0.005517984
Water	(unspecified)	Benzene, ethyl-	000100-41-4	7580.716134	0.001812761
Soil	(unspecified)	Benzene, ethyl-	000100-41-4	9.13956533	54.79088735
Air	(unspecified)	Benzene, hexabromo-	000087-82-1	551039.2713	50.70947383
Water	(unspecified)	Benzene, hexabromo-	000087-82-1	77057393.83	8.181499031
Soil	(unspecified)	Benzene, hexabromo-	000087-82-1	393545.7414	655.1710121
Air	(unspecified)	Benzene, hexachloro-	000118-74-1	8227.847007	34.12435876
Water	(unspecified)	Benzene, hexachloro-	000118-74-1	2612582.25	30.18256854
Soil	(unspecified)	Benzene, hexachloro-	000118-74-1	12086.30998	759.547754
Air	(unspecified)	Benzene, pentachloro-	000608-93-5	5219.65468	16.85170987
Water	(unspecified)	Benzene, pentachloro-	000608-93-5	1504416.467	14.5243849
Soil	(unspecified)	Benzene, pentachloro-	000608-93-5	6688.848801	445.1923587
Air	(unspecified)	Benzene, pentachloronitro-	000082-68-8	16772.54488	24.17973361
Water	(unspecified)	Benzene, pentachloronitro-	000082-68-8	2659782.478	18.45821524
Soil	(unspecified)	Benzene, pentachloronitro-	000082-68-8	21086.18957	1005.930732
Air	(unspecified)	Benzo(a)anthracene	000056-55-3	120391.9532	62.98298497
Water	(unspecified)	Benzo(a)anthracene	000056-55-3	17649981.68	10.85384433
Soil	(unspecified)	Benzo(a)anthracene	000056-55-3	111976.4906	1488.184653
Air	(unspecified)	Benzo(a)pyrene	000050-32-8	24950.92583	24.23769648
Water	(unspecified)	Benzo(a)pyrene	000050-32-8	1709988.562	0.226578743
Soil	(unspecified)	Benzo(a)pyrene	000050-32-8	13385.1771	281.183849
Air	(unspecified)	Benzo(b)fluoranthene	000205-99-2	35984.29824	138.1660654
Water	(unspecified)	Benzo(b)fluoranthene	000205-99-2	5235309.972	0.558069579
Soil	(unspecified)	Benzo(b)fluoranthene	000205-99-2	26004.71596	3063.839262
Air	(unspecified)	Benzo(g,h,i)perylene	000191-24-2	937231.9075	689.5777304
Water	(unspecified)	Benzo(g,h,i)perylene	000191-24-2	58965018.31	2.373020925
Soil	(unspecified)	Benzo(g,h,i)perylene	000191-24-2	363170.7503	7726.984437
Air	(unspecified)	Benzo(k)fluoranthene	000207-08-9	507971.2434	489.2762288
Water	(unspecified)	Benzo(k)fluoranthene	000207-08-9	3864084.66	6.058141803
Soil	(unspecified)	Benzo(k)fluoranthene	000207-08-9	304477.3684	6157.530987
Air	(unspecified)	beta-bromo-beta-nitrostyrene	007166-19-0	6515.008089	952.3557119
Water	(unspecified)	beta-bromo-beta-nitrostyrene	007166-19-0	794258.3378	1.627765691
Soil	(unspecified)	beta-bromo-beta-nitrostyrene	007166-19-0	10093.92385	15786.74662
Air	(unspecified)	Bifenoxy	042576-02-3	3263.073813	9.631658972
Water	(unspecified)	Bifenoxy	042576-02-3	296451.7683	0.003350036
Soil	(unspecified)	Bifenoxy	042576-02-3	289.9306709	119.0820467
Air	(unspecified)	Bifenthrin	082657-04-3	2363.070447	11.01897802
Water	(unspecified)	Bifenthrin	082657-04-3	312586.5973	0.000123822
Soil	(unspecified)	Bifenthrin	082657-04-3	459.2483086	257.2076149
Air	(unspecified)	Bispyribac-sodium	125401-92-5	17.1067566	56.40670462
Water	(unspecified)	Bispyribac-sodium	125401-92-5	4683.885521	1.23E-11
Soil	(unspecified)	Bispyribac-sodium	125401-92-5	605.2980096	4617.314803
Air	(unspecified)	Bromacil	000314-40-9	34.79550323	16.60999734
Water	(unspecified)	Bromacil	000314-40-9	3997.373615	0.0000042
Soil	(unspecified)	Bromacil	000314-40-9	127.9621718	346.7699806
Air	(unspecified)	Bromoxynil	001689-84-5	6038.010288	18.50011264
Water	(unspecified)	Bromoxynil	001689-84-5	154140.781	3.81E-08
Soil	(unspecified)	Bromoxynil	001689-84-5	35427.96764	183.634408
Air	(unspecified)	Bromoxynil heptanoate	056634-95-8	209.385125	0.093432705
Water	(unspecified)	Bromoxynil heptanoate	056634-95-8	23695.35007	0.00000271
Soil	(unspecified)	Bromoxynil heptanoate	056634-95-8	3.073779516	1.464404576
Air	(unspecified)	Bromoxynil octanoate	001689-99-2	215.9170521	0.016668013
Water	(unspecified)	Bromoxynil octanoate	001689-99-2	23397.86477	5.53E-08
Soil	(unspecified)	Bromoxynil octanoate	001689-99-2	6.712324665	0.229848723
Air	(unspecified)	Bromuconazole	116255-48-2	3225.367606	127.6166629
Water	(unspecified)	Bromuconazole	116255-48-2	256385.7831	0.000281694
Soil	(unspecified)	Bromuconazole	116255-48-2	2701.356097	1839.381231
Air	(unspecified)	Butadiene	000106-99-0	0.001727259	0.001571077
Water	(unspecified)	Butadiene	000106-99-0	2640.33538	0.000247135
Soil	(unspecified)	Butadiene	000106-99-0	1.39994253	191.1517681
Air	(unspecified)	Butadiene, hexachloro-	000087-68-3	451.6117602	4.004357488
Water	(unspecified)	Butadiene, hexachloro-	000087-68-3	394960.449	2.071791633
Soil	(unspecified)	Butadiene, hexachloro-	000087-68-3	446.4240214	35.24867274
Air	(unspecified)	Butane	000106-97-8	0.006450743	0.008934299
Water	(unspecified)	Butane	000106-97-8	10580.03183	0.000838099
Soil	(unspecified)	Butane	000106-97-8	0.232751322	31.14327063

Compartiment	Sous-compartiment	Substance	CAS number	Ecotoxicité aquatique kg TEG water eq / kg	Ecotoxicité terrestre kg TEG soil eq / kg
Air	(unspecified)	Butene	025167-67-3	0.001353877	0.001059299
Water	(unspecified)	Butene	025167-67-3	2667.375051	0.000100294
Soil	(unspecified)	Butene	025167-67-3	0.210320423	23.59817686
Air	(unspecified)	Butralin	033629-47-9	1859.193024	1.425895388
Water	(unspecified)	Butralin	033629-47-9	854162.3038	0.043923778
Soil	(unspecified)	Butralin	033629-47-9	1225.389514	55.96258531
Air	(unspecified)	Butyric acid, 4-(2,4-dichlorophenoxy)-	000094-82-6	57.68282921	0.861791997
Water	(unspecified)	Butyric acid, 4-(2,4-dichlorophenoxy)-	000094-82-6	4793.859986	4.29E-08
Soil	(unspecified)	Butyric acid, 4-(2,4-dichlorophenoxy)-	000094-82-6	357.3769384	16.15176426
Air	(unspecified)	Cacodylic acid	000075-60-5	19.66698425	55.70090191
Water	(unspecified)	Cacodylic acid	000075-60-5	658.7841819	1.12E-14
Soil	(unspecified)	Cacodylic acid	000075-60-5	78.21547956	545.674068
Air	(unspecified)	Cadmium	007440-43-9	427515.8768	911772.3991
Soil	(unspecified)	Cadmium	007440-43-9	2913297.304	5281209.659
Water	(unspecified)	Cadmium, ion	022537-48-0	2916028.292	1.52E-09
Air	(unspecified)	Captafol	002939-80-2	42248.47097	431.4414157
Water	(unspecified)	Captafol	002939-80-2	8200971.064	0.191799407
Soil	(unspecified)	Captafol	002939-80-2	797252.3372	21015.4532
Air	(unspecified)	Captan	000133-06-2	144.5049717	1054.736176
Water	(unspecified)	Captan	000133-06-2	11290.83774	0.002803974
Soil	(unspecified)	Captan	000133-06-2	1096.415488	17797.46062
Air	(unspecified)	Carbamic acid, butyl-, 3-iodo-2-propynyl ester	055406-53-6	18.2704665	6.573029761
Water	(unspecified)	Carbamic acid, butyl-, 3-iodo-2-propynyl ester	055406-53-6	2998.291805	0.00000198
Soil	(unspecified)	Carbamic acid, butyl-, 3-iodo-2-propynyl ester	055406-53-6	0.834154436	127.953013
Air	(unspecified)	Carbaryl	000063-25-2	1374.463626	987.7079585
Water	(unspecified)	Carbaryl	000063-25-2	83430.57343	0.020086203
Soil	(unspecified)	Carbaryl	000063-25-2	7375.28978	12003.32084
Air	(unspecified)	Carbendazim	010605-21-7	2318.715192	930.9779118
Water	(unspecified)	Carbendazim	010605-21-7	362886.7132	0.0000012
Soil	(unspecified)	Carbendazim	010605-21-7	161693.8996	85694.40626
Air	(unspecified)	Carbetamide	016118-49-3	95.6867494	109.7720236
Water	(unspecified)	Carbetamide	016118-49-3	17596.87851	0.0000396
Soil	(unspecified)	Carbetamide	016118-49-3	1117.094819	3829.686948
Air	(unspecified)	Carbofuran	001563-66-2	1411.848726	1060.703952
Water	(unspecified)	Carbofuran	001563-66-2	227104.3663	0.014807349
Soil	(unspecified)	Carbofuran	001563-66-2	21607.59087	35779.30796
Air	(unspecified)	Carboxin	005234-68-4	37.27486961	10.4792954
Water	(unspecified)	Carboxin	005234-68-4	8874.974433	2.33E-12
Soil	(unspecified)	Carboxin	005234-68-4	1099.902509	637.4863671
Air	(unspecified)	Chlordane	012789-03-6	43500	7.4
Water	(unspecified)	Chlordane	012789-03-6	10500000	4.16
Soil	(unspecified)	Chlordane	012789-03-6	43500	255
Air	(unspecified)	Chlordane (technical)	012789-03-6	43500	7.4
Water	(unspecified)	Chlordane (technical)	012789-03-6	10500000	4.16
Soil	(unspecified)	Chlordane (technical)	012789-03-6	43500	255
Air	(unspecified)	Chlordane, cis-	005103-71-9	43500	7.4
Water	(unspecified)	Chlordane, cis-	005103-71-9	10500000	4.16
Soil	(unspecified)	Chlordane, cis-	005103-71-9	43500	255
Air	(unspecified)	Chlordane, gamma-	005566-34-7	43500	7.4
Water	(unspecified)	Chlordane, gamma-	005566-34-7	10500000	4.16
Soil	(unspecified)	Chlordane, gamma-	005566-34-7	43500	255
Air	(unspecified)	Chlordane, trans-	005103-74-2	43500	7.4
Water	(unspecified)	Chlordane, trans-	005103-74-2	10500000	4.16
Soil	(unspecified)	Chlordane, trans-	005103-74-2	43500	255
Air	(unspecified)	Chlorethoxyfos	054593-83-8	152878.5446	202.7415469
Water	(unspecified)	Chlorethoxyfos	054593-83-8	200312274.7	5.348347685
Soil	(unspecified)	Chlorethoxyfos	054593-83-8	137463.0238	25607.43883
Air	(unspecified)	Chloridazon	001698-60-8	2018.467625	304.7912971
Water	(unspecified)	Chloridazon	001698-60-8	138851.1715	0.00000206
Soil	(unspecified)	Chloridazon	001698-60-8	45887.03338	9110.405898
Air	(unspecified)	Chlormequat chloride	000999-81-5	2.037248891	9.191413042
Water	(unspecified)	Chlormequat chloride	000999-81-5	180.6542243	4.21E-10
Soil	(unspecified)	Chlormequat chloride	000999-81-5	21.69700216	181.4571188
Air	(unspecified)	Chloroform	000067-66-3	2.52815616	0.692046341
Water	(unspecified)	Chloroform	000067-66-3	3699.212889	0.405684249
Soil	(unspecified)	Chloroform	000067-66-3	40.72618391	578.4534224
Air	(unspecified)	Chlorothalonil	001897-45-6	3752.316846	332.7897025
Water	(unspecified)	Chlorothalonil	001897-45-6	382990.7321	2.617622044
Soil	(unspecified)	Chlorothalonil	001897-45-6	8844.540161	9310.334419
Air	(unspecified)	Chlorpyrifos	002921-88-2	18298.08012	20.54191645
Water	(unspecified)	Chlorpyrifos	002921-88-2	7844763.697	0.197108015
Soil	(unspecified)	Chlorpyrifos	002921-88-2	9092.317855	695.6339319
Air	(unspecified)	Chlorsulfuron	064902-72-3	187.2266188	35.73007897
Water	(unspecified)	Chlorsulfuron	064902-72-3	6460.197475	8.31E-09
Soil	(unspecified)	Chlorsulfuron	064902-72-3	1679.065095	497.7500317
Air	(unspecified)	Chromium	007440-47-3	67045.11183	381745.9085
Water	(unspecified)	Chromium	007440-47-3	453048.8189	0
Soil	(unspecified)	Chromium	007440-47-3	448853.774	2246632.002
Air	(unspecified)	Chromium VI	018540-29-9	67045.11183	381745.9085
Water	(unspecified)	Chromium VI	018540-29-9	453048.8189	0
Soil	(unspecified)	Chromium VI	018540-29-9	448853.774	2246632.002
Air	(unspecified)	Chromium, ion	016065-83-1	453048.8189	0
Water	(unspecified)	Chrysene	000218-01-9	194882.729	171.2340702
Water	(unspecified)	Chrysene	000218-01-9	26458918.59	20.72322713
Soil	(unspecified)	Chrysene	000218-01-9	185128.734	3725.537849
Air	(unspecified)	Clomazone	081777-89-1	291.6710256	51.22924646
Water	(unspecified)	Clomazone	081777-89-1	27937.74184	0.01823842

Compartment	Sous-compartment	Substance	CAS number	Ecotoxicité aquatique kg TEG water eq / kg	Ecotoxicité terrestre kg TEG soil eq / kg
Soil	(unspecified)	Clomazone	081777-89-1	1100.558414	777.8023844
Air	(unspecified)	Cobalt	007440-48-4	541215.8979	211637.8393
Water	(unspecified)	Cobalt	007440-48-4	3864231.887	1.16E-09
Soil	(unspecified)	Cobalt	007440-48-4	3837071.044	1241478.277
Air	(unspecified)	Copper	007440-50-8	2940561.845	1183637.149
Soil	(unspecified)	Copper	007440-50-8	20440751.69	6924785.648
Water	(unspecified)	Copper, ion	017493-86-6	20550296.01	0
Air	(unspecified)	Coumafos	000056-72-4	44325.9696	261.9084391
Water	(unspecified)	Coumafos	000056-72-4	11999085.97	1.619546727
Soil	(unspecified)	Coumafos	000056-72-4	535527.1473	12912.09972
Air	(unspecified)	Crotoxyphos	007700-17-6	1585.06936	71.75813051
Water	(unspecified)	Crotoxyphos	007700-17-6	332873.2565	0.000943419
Soil	(unspecified)	Crotoxyphos	007700-17-6	892.0834725	2062.857081
Air	(unspecified)	Cyanazine	021725-46-2	3902.357184	461.0504076
Water	(unspecified)	Cyanazine	021725-46-2	130218.7323	8.73E-12
Soil	(unspecified)	Cyanazine	021725-46-2	32617.52453	6381.036816
Air	(unspecified)	Cyflunilide	113136-77-9	285.7849637	170.0693073
Water	(unspecified)	Cyflunilide	113136-77-9	21294.79693	9.36E-08
Soil	(unspecified)	Cyflunilide	113136-77-9	2667.395333	3078.87951
Air	(unspecified)	Cyclopentadiene, hexachloro-	000077-47-4	17.13597414	0.764722208
Water	(unspecified)	Cyclopentadiene, hexachloro-	000077-47-4	305589.3409	0.040289036
Soil	(unspecified)	Cyclopentadiene, hexachloro-	000077-47-4	25.88958015	33.33426485
Air	(unspecified)	Cyfluthrin	068359-37-5	480686.0937	65.08603533
Water	(unspecified)	Cyfluthrin	068359-37-5	42909891.67	0.015881506
Soil	(unspecified)	Cyfluthrin	068359-37-5	8731.656033	1016.483873
Air	(unspecified)	Cyhalothrin, gamma-	076703-62-3	1260000	77.6
Water	(unspecified)	Cyhalothrin, gamma-	076703-62-3	18800000	0.0868
Soil	(unspecified)	Cyhalothrin, gamma-	076703-62-3	96000	1960
Air	(unspecified)	Cyhexatin	013121-70-5	903.4564894	0.16961224
Water	(unspecified)	Cyhexatin	013121-70-5	9187011.699	0.00740779
Soil	(unspecified)	Cyhexatin	013121-70-5	854.3961852	32.57362457
Air	(unspecified)	Cymoxanil	057966-95-7	479.2693896	874.6391285
Water	(unspecified)	Cymoxanil	057966-95-7	18173.66249	0.00266307
Soil	(unspecified)	Cymoxanil	057966-95-7	4183.98919	11024.09866
Air	(unspecified)	Cypermethrin	052315-07-8	157503.1312	115.344172
Water	(unspecified)	Cypermethrin	052315-07-8	17794779.43	0.01420069
Soil	(unspecified)	Cypermethrin	052315-07-8	9593.207587	2279.553223
Air	(unspecified)	Cyproconazole	094361-06-5	111.2290748	9.896054795
Water	(unspecified)	Cyproconazole	094361-06-5	12079.36907	0.00005568
Soil	(unspecified)	Cyproconazole	094361-06-5	266.221832	184.8698588
Air	(unspecified)	Cyprodinil	121552-61-2	411.2588726	1.355988443
Water	(unspecified)	Cyprodinil	121552-61-2	104113.9902	0.00000276
Soil	(unspecified)	Cyprodinil	121552-61-2	18667.34682	101.5451148
Air	(unspecified)	Cyromazine	066215-27-8	897.2349013	296.545513
Water	(unspecified)	Cyromazine	066215-27-8	16157.48289	2.62E-08
Soil	(unspecified)	Cyromazine	066215-27-8	6817.107996	2957.434198
Air	(unspecified)	Dazomet	000533-74-4	99.94399517	146.0908499
Water	(unspecified)	Dazomet	000533-74-4	43178.36777	0.0000638
Soil	(unspecified)	Dazomet	000533-74-4	4430.764881	13232.89755
Air	(unspecified)	DDAC	007173-51-5	661.5604706	1.086095827
Water	(unspecified)	DDAC	007173-51-5	118623.3583	0.00000156
Soil	(unspecified)	DDAC	007173-51-5	16.56701427	33.74320451
Air	(unspecified)	DDD	000072-54-8	371439.9285	148.5352842
Water	(unspecified)	DDD	000072-54-8	42712496.63	61.38854423
Soil	(unspecified)	DDD	000072-54-8	505707.8739	3109.790107
Air	(unspecified)	DDT	000050-29-3	187445.2526	37.56223171
Water	(unspecified)	DDT	000050-29-3	1862965.06	7.438389013
Soil	(unspecified)	DDT	000050-29-3	156233.379	572.5200692
Air	(unspecified)	Deltamethrin	052918-63-5	10315.07405	7.427439025
Water	(unspecified)	Deltamethrin	052918-63-5	2403175.829	0.021057524
Soil	(unspecified)	Deltamethrin	052918-63-5	4103.461173	219.7374767
Air	(unspecified)	Desmedipham	013684-56-5	0.236568579	0.007137829
Water	(unspecified)	Desmedipham	013684-56-5	72.29938174	2.25E-12
Soil	(unspecified)	Desmedipham	013684-56-5	0.000129125	0.368734795
Air	(unspecified)	Diazinon	000333-41-5	111028.6776	618.8425611
Water	(unspecified)	Diazinon	000333-41-5	3246417.225	0.0000448
Soil	(unspecified)	Diazinon	000333-41-5	1361457.02	9369.945267
Air	(unspecified)	Dibenz(a,h)anthracene	000053-70-3	445782.7213	1140.287539
Water	(unspecified)	Dibenz(a,h)anthracene	000053-70-3	83280572.97	0.285932343
Soil	(unspecified)	Dibenz(a,h)anthracene	000053-70-3	307068.9946	37415.60715
Air	(unspecified)	Dicamba	001918-00-9	216.8865109	23.90334042
Water	(unspecified)	Dicamba	001918-00-9	10925.65208	7.02E-09
Soil	(unspecified)	Dicamba	001918-00-9	3299.028474	492.4663566
Air	(unspecified)	Dichlobenil	001194-65-6	166.1589461	2.415094551
Water	(unspecified)	Dichlobenil	001194-65-6	15189.36632	0.122177727
Soil	(unspecified)	Dichlobenil	001194-65-6	233.699071	82.91721042
Air	(unspecified)	Diclofop-methyl	051338-27-3	957.7927176	1.915551479
Water	(unspecified)	Diclofop-methyl	051338-27-3	122263.4536	0.000248004
Soil	(unspecified)	Diclofop-methyl	051338-27-3	48.39408599	37.36174302
Air	(unspecified)	Dicofol	000115-32-2	7851.702887	10.0866174
Water	(unspecified)	Dicofol	000115-32-2	759430.9136	0.043410701
Soil	(unspecified)	Dicofol	000115-32-2	2191.586833	135.570799
Air	(unspecified)	Dicrotophos	000141-66-2	244.7700921	1016.594766
Water	(unspecified)	Dicrotophos	000141-66-2	28478.75876	0.000127844
Soil	(unspecified)	Dicrotophos	000141-66-2	3503.197607	27658.09516
Air	(unspecified)	Dieldrin	000060-57-1	227063.6007	89.79851949
Water	(unspecified)	Dieldrin	000060-57-1	50005835.26	51.47968163

Compartiment	Sous-compartiment	Substance	CAS number	Ecotoxicité aquatique kg TEG water eq / kg	Ecotoxicité terrestre kg TEG soil eq / kg
Soil	(unspecified)	Dieldrin	000060-57-1	285857.8523	4439.177909
Air	(unspecified)	Diethylene glycol dinitrate	000693-21-0	3.00865663	3.128589157
Water	(unspecified)	Diethylene glycol dinitrate	000693-21-0	202.6455055	0.0032024
Soil	(unspecified)	Diethylene glycol dinitrate	000693-21-0	9.249776895	41.73178299
Air	(unspecified)	Difenoconazole	119446-68-3	1820.28809	6.649512846
Water	(unspecified)	Difenoconazole	119446-68-3	201496.9043	0.000000419
Soil	(unspecified)	Difenoconazole	119446-68-3	203.5584551	129.9713369
Air	(unspecified)	Dimethenamid	087674-68-8	1501.608025	359.5457595
Water	(unspecified)	Dimethenamid	087674-68-8	209363.5652	0.242139706
Soil	(unspecified)	Dimethenamid	087674-68-8	11457.51377	9289.063351
Air	(unspecified)	Dimethipin	055290-64-7	11.22930369	45.79653729
Water	(unspecified)	Dimethipin	055290-64-7	2470.866434	0.00000274
Soil	(unspecified)	Dimethipin	055290-64-7	298.9385192	2331.863926
Air	(unspecified)	Dimethoate	000060-51-5	2506.725221	2911.855084
Water	(unspecified)	Dimethoate	000060-51-5	233696.8265	0.004708275
Soil	(unspecified)	Dimethoate	000060-51-5	66482.07824	107402.9789
Air	(unspecified)	Dimethomorph	110488-70-5	28.6664942	3.683942602
Water	(unspecified)	Dimethomorph	110488-70-5	8504.293015	0.00000544
Soil	(unspecified)	Dimethomorph	110488-70-5	296.9797977	211.2059934
Air	(unspecified)	Dimethylamine	000124-40-3	0.811256029	0.967950429
Water	(unspecified)	Dimethylamine	000124-40-3	447.5158788	0.005876491
Soil	(unspecified)	Dimethylamine	000124-40-3	20.91654924	446.0649531
Air	(unspecified)	Dinoseb	000088-85-7	178316.4843	618.7223418
Water	(unspecified)	Dinoseb	000088-85-7	3505341.927	0.056174693
Soil	(unspecified)	Dinoseb	000088-85-7	1257245.658	5505.452282
Air	(unspecified)	Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p	001746-01-6	393500.2454	259.1203744
Water	(unspecified)	Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p	001746-01-6	4327137.85	9.544505037
Soil	(unspecified)	Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p	001746-01-6	341025.8974	4092.68775
Air	(unspecified)	Dipotassium endothall	002164-07-0	3.613836887	2.144615297
Water	(unspecified)	Dipotassium endothall	002164-07-0	313.2128468	2.24E-12
Soil	(unspecified)	Dipotassium endothall	002164-07-0	13.70178163	40.62886878
Air	(unspecified)	Dipropylthiocarbamic acid S-ethyl ester	000759-94-4	12.68103841	0.066220645
Water	(unspecified)	Dipropylthiocarbamic acid S-ethyl ester	000759-94-4	7030.815352	0.003684288
Soil	(unspecified)	Dipropylthiocarbamic acid S-ethyl ester	000759-94-4	18.48304144	11.9893469
Air	(unspecified)	Disodium cyanodithioimidocarbonate	000138-93-2	0.366918926	0.096472249
Water	(unspecified)	Disodium cyanodithioimidocarbonate	000138-93-2	3556.687514	0.007294413
Soil	(unspecified)	Disodium cyanodithioimidocarbonate	000138-93-2	20.11527666	637.9448001
Air	(unspecified)	Dithiopyr	097886-45-8	1276.128057	1.95627902
Water	(unspecified)	Dithiopyr	097886-45-8	275270.1017	0.019362086
Soil	(unspecified)	Dithiopyr	097886-45-8	620.468852	37.68386189
Air	(unspecified)	Diuron	000330-54-1	3813.362741	828.6567628
Water	(unspecified)	Diuron	000330-54-1	319266.8693	0.005917266
Soil	(unspecified)	Diuron	000330-54-1	35329.58873	17700.19839
Air	(unspecified)	Dodecylguanidine hydrochloride	013590-97-1	26.47777659	0.115106257
Water	(unspecified)	Dodecylguanidine hydrochloride	013590-97-1	9348.147486	0.000000334
Soil	(unspecified)	Dodecylguanidine hydrochloride	013590-97-1	3.091230115	6.847099819
Air	(unspecified)	Endosulfan	000115-29-7	3666.794038	11.46970402
Water	(unspecified)	Endosulfan	000115-29-7	2568287.434	0.521613195
Soil	(unspecified)	Endosulfan	000115-29-7	3418.226591	999.9086319
Air	(unspecified)	Endothall	000145-73-3	35.74517107	14.17591767
Water	(unspecified)	Endothall	000145-73-3	2300.658285	3.72E-15
Soil	(unspecified)	Endothall	000145-73-3	279.8957023	267.9181599
Air	(unspecified)	Endrin	000072-20-8	2754090.677	2270.372537
Water	(unspecified)	Endrin	000072-20-8	607328353.9	1356.392703
Soil	(unspecified)	Endrin	000072-20-8	7428707.698	142655.2328
Air	(unspecified)	Ethalfuralin	055283-68-6	226.1340027	0.107117522
Water	(unspecified)	Ethalfuralin	055283-68-6	1093523.774	0.015012778
Soil	(unspecified)	Ethalfuralin	055283-68-6	228.8869631	28.20792171
Air	(unspecified)	Ethane, 1-chloro-1,1-difluoro-, HCFC-142b	000075-68-3	0.077343704	0.514687211
Water	(unspecified)	Ethane, 1-chloro-1,1-difluoro-, HCFC-142b	000075-68-3	51.43367535	0.001425743
Soil	(unspecified)	Ethane, 1-chloro-1,1-difluoro-, HCFC-142b	000075-68-3	0.066546628	1.307479137
Air	(unspecified)	Ethane, 1,1-dichloro-1-fluoro-, HCFC-141b	001717-00-6	7.689172244	2.313337688
Water	(unspecified)	Ethane, 1,1-dichloro-1-fluoro-, HCFC-141b	001717-00-6	3796.074304	0.526152542
Soil	(unspecified)	Ethane, 1,1-dichloro-1-fluoro-, HCFC-141b	001717-00-6	9.16470091	44.24295433
Air	(unspecified)	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	000075-37-6	0.020995187	0.06126949
Water	(unspecified)	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	000075-37-6	27.24847685	0.005559572
Soil	(unspecified)	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	000075-37-6	0.039756978	3.890255867
Air	(unspecified)	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	000071-55-6	5.665307896	1.280573721
Water	(unspecified)	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	000071-55-6	3520.254913	0.997212127
Soil	(unspecified)	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	000071-55-6	14.86689578	116.3601178
Air	(unspecified)	Ethane, 1,1,1-trifluoro-, HFC-143a	000420-46-2	0.226596701	2.328718362
Water	(unspecified)	Ethane, 1,1,1-trifluoro-, HFC-143a	000420-46-2	565.0643493	0.569934792
Soil	(unspecified)	Ethane, 1,1,1-trifluoro-, HFC-143a	000420-46-2	0.231979179	25.09487574
Air	(unspecified)	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	000811-97-2	0.689332659	0.848155338
Water	(unspecified)	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	000811-97-2	471.8201472	0.198961472
Soil	(unspecified)	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	000811-97-2	0.919265217	22.73588207
Air	(unspecified)	Ethane, 1,1,2-trichloro-	000079-00-5	11.80330829	1.323627851
Water	(unspecified)	Ethane, 1,1,2-trichloro-	000079-00-5	5180.946686	1.070269255
Soil	(unspecified)	Ethane, 1,1,2-trichloro-	000079-00-5	137.1221919	717.058214
Air	(unspecified)	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	000076-13-1	212.027512	121.9638982
Water	(unspecified)	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	000076-13-1	86296.13049	96.49915105
Soil	(unspecified)	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	000076-13-1	208.2913931	763.5028166
Air	(unspecified)	Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro-	000079-34-5	87.87271053	5.205414369
Water	(unspecified)	Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro-	000079-34-5	19226.92969	2.843594056
Soil	(unspecified)	Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro-	000079-34-5	524.9529249	1186.829856
Air	(unspecified)	Ethane, 1,2-dichloro-	000107-06-2	2.700260382	0.799590631
Water	(unspecified)	Ethane, 1,2-dichloro-	000107-06-2	1550.916888	0.476185352

Compartment	Sous-compartment	Substance	CAS number	Ecotoxicité aquatique kg TEG water eq / kg	Ecotoxicité terrestre kg TEG soil eq / kg
Soil	(unspecified)	Ethane, 1,2-dichloro-	000107-06-2	38.76445926	606.2382871
Air	(unspecified)	Ethane, 2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoro-, HCFC-124	002837-89-0	0.192985169	0.271689855
Water	(unspecified)	Ethane, 2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoro-, HCFC-124	002837-89-0	359.3221904	0.059783959
Soil	(unspecified)	Ethane, 2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoro-, HCFC-124	002837-89-0	0.332295144	11.83592737
Air	(unspecified)	Ethane, 2,2-dichloro-1,1,1-trifluoro-, HCFC-123	000306-83-2	1.503357804	0.619501227
Water	(unspecified)	Ethane, 2,2-dichloro-1,1,1-trifluoro-, HCFC-123	000306-83-2	2997.195057	0.13279253
Soil	(unspecified)	Ethane, 2,2-dichloro-1,1,1-trifluoro-, HCFC-123	000306-83-2	3.846125913	51.24594153
Air	(unspecified)	Ethane, hexachloro-	000067-72-1	268.461323	7.423928307
Water	(unspecified)	Ethane, hexachloro-	000067-72-1	113310.0046	3.970749733
Soil	(unspecified)	Ethane, hexachloro-	000067-72-1	385.8233331	212.5482545
Air	(unspecified)	Ethane, pentafluoro-, HFC-125	000354-33-6	0.719536993	1.10095907
Water	(unspecified)	Ethane, pentafluoro-, HFC-125	000354-33-6	351.5246523	0.216097792
Soil	(unspecified)	Ethane, pentafluoro-, HFC-125	000354-33-6	0.860867311	20.74278845
Air	(unspecified)	Ethanol	000064-17-5	0.1300781763	0.013274058
Water	(unspecified)	Ethanol	000064-17-5	15.26252249	0.000236041
Soil	(unspecified)	Ethanol	000064-17-5	0.178905349	0.562556438
Air	(unspecified)	Ethene	000074-85-1	0.001851402	0.007734364
Water	(unspecified)	Ethene	000074-85-1	1590.927801	0.002304216
Soil	(unspecified)	Ethene	000074-85-1	0.298393102	186.9268491
Air	(unspecified)	Ethene, chloro-	000075-01-4	0.016336609	0.014914294
Water	(unspecified)	Ethene, chloro-	000075-01-4	1461.945837	0.005428234
Soil	(unspecified)	Ethene, chloro-	000075-01-4	3.581665652	384.4109076
Air	(unspecified)	Ethene, tetrachloro-	000127-18-4	1.218827323	0.218290686
Water	(unspecified)	Ethene, tetrachloro-	000127-18-4	21313.9472	0.065952289
Soil	(unspecified)	Ethene, tetrachloro-	000127-18-4	26.42777303	261.2384901
Air	(unspecified)	Ethene, trichloro-	000079-01-6	0.156558623	0.025264171
Water	(unspecified)	Ethene, trichloro-	000079-01-6	3112.867168	0.007985668
Soil	(unspecified)	Ethene, trichloro-	000079-01-6	6.969822662	85.37479234
Air	(unspecified)	Ethephon	016672-87-0	15.6024001	65.71568313
Water	(unspecified)	Ethephon	016672-87-0	1392.837577	3.5E-11
Soil	(unspecified)	Ethephon	016672-87-0	166.022144	1325.647903
Air	(unspecified)	Ethion	000563-12-2	63.28884068	0.063083073
Water	(unspecified)	Ethion	000563-12-2	254225.7443	0.000113714
Soil	(unspecified)	Ethion	000563-12-2	25.43602662	24.209645
Air	(unspecified)	Ethofumesate	026225-79-6	75.06394428	10.72473031
Water	(unspecified)	Ethofumesate	026225-79-6	13342.0879	0.001464376
Soil	(unspecified)	Ethofumesate	026225-79-6	407.3775457	285.570999
Air	(unspecified)	Ethoprop	013194-48-4	11191.02835	73.55840366
Water	(unspecified)	Ethoprop	013194-48-4	3676520.049	0.615462477
Soil	(unspecified)	Ethoprop	013194-48-4	29563.28694	2830.54631
Air	(unspecified)	Ethyl acetate	000141-78-6	0.182544982	0.029190738
Water	(unspecified)	Ethyl acetate	000141-78-6	60.73909182	0.002083783
Soil	(unspecified)	Ethyl acetate	000141-78-6	0.07391656	8.910549819
Air	(unspecified)	Ethyl O-(p-nitrophenyl) phenylphosphonothionate	002104-64-5	2930.908444	4.880133081
Water	(unspecified)	Ethyl O-(p-nitrophenyl) phenylphosphonothionate	002104-64-5	1548885.853	0.015886142
Soil	(unspecified)	Ethyl O-(p-nitrophenyl) phenylphosphonothionate	002104-64-5	1111.227598	267.6105506
Air	(unspecified)	Ethyne	000074-86-2	0.004624207	0.013367983
Water	(unspecified)	Ethyne	000074-86-2	67.26201571	0.001539195
Soil	(unspecified)	Ethyne	000074-86-2	0.047293588	12.19365982
Air	(unspecified)	Etridiazole	002593-15-9	3498.293269	36.10297239
Water	(unspecified)	Etridiazole	002593-15-9	133072.8309	0.0000115
Soil	(unspecified)	Etridiazole	002593-15-9	33314.18854	488.2829342
Air	(unspecified)	Fenaminosulf	000140-56-7	54.30421697	120.497511
Water	(unspecified)	Fenaminosulf	000140-56-7	8052.634384	0.000539333
Soil	(unspecified)	Fenaminosulf	000140-56-7	2003.887981	6433.438358
Air	(unspecified)	Fenamiphos	022224-92-6	6851.913378	309.4917032
Water	(unspecified)	Fenamiphos	022224-92-6	1858846.58	0.002982549
Soil	(unspecified)	Fenamiphos	022224-92-6	19957.56551	13588.17884
Air	(unspecified)	Fenbuconazole	114369-43-6	1865.725843	78.14876362
Water	(unspecified)	Fenbuconazole	114369-43-6	171467.984	0.049836833
Soil	(unspecified)	Fenbuconazole	114369-43-6	1851.144262	985.7271627
Air	(unspecified)	Fenitrothion	000122-14-5	1340.186858	43.92190647
Water	(unspecified)	Fenitrothion	000122-14-5	802226.3785	0.29154767
Soil	(unspecified)	Fenitrothion	000122-14-5	5832.888442	3785.93864
Air	(unspecified)	Fenoxaprop ethyl ester	066441-23-4	301.9311314	0.587253419
Water	(unspecified)	Fenoxaprop ethyl ester	066441-23-4	43292.73947	2.43E-08
Soil	(unspecified)	Fenoxaprop ethyl ester	066441-23-4	7.004517276	14.72857743
Air	(unspecified)	Fenpropathrin	039515-41-8	12569.35932	3.759105947
Water	(unspecified)	Fenpropathrin	039515-41-8	24255909.22	0.446515444
Soil	(unspecified)	Fenpropathrin	039515-41-8	10363.25175	217.8197979
Air	(unspecified)	Fenthion	000055-38-9	2369.208595	16.10265793
Water	(unspecified)	Fenthion	000055-38-9	1882317.36	0.219459749
Soil	(unspecified)	Fenthion	000055-38-9	4160.454734	1449.514451
Air	(unspecified)	Fentin hydroxide	000076-87-9	35118.47365	2314.999612
Water	(unspecified)	Fentin hydroxide	000076-87-9	731800.0175	0.058012386
Soil	(unspecified)	Fentin hydroxide	000076-87-9	254695.0102	22383.51673
Air	(unspecified)	Fenvalerate	051630-58-1	122445.4237	12.3795306
Water	(unspecified)	Fenvalerate	051630-58-1	15626089.7	0.016323149
Soil	(unspecified)	Fenvalerate	051630-58-1	7335.234327	264.1166814
Air	(unspecified)	Fipronil	120068-37-3	39878.25914	297.8964996
Water	(unspecified)	Fipronil	120068-37-3	12211790.64	0.00716841
Soil	(unspecified)	Fipronil	120068-37-3	100463.2087	16047.06925
Air	(unspecified)	Fluazifop-butyl	069806-50-4	72.82481021	0.229973815
Water	(unspecified)	Fluazifop-butyl	069806-50-4	16827.76766	0.0000988
Soil	(unspecified)	Fluazifop-butyl	069806-50-4	9.545942427	6.250429487
Air	(unspecified)	Fluchloralin	033245-39-5	34370.26812	19.78245984
Water	(unspecified)	Fluchloralin	033245-39-5	13432577.38	3.769839797

Compartiment	Sous-compartiment	Substance	CAS number	Ecotoxicité aquatique kg TEG water eq / kg	Ecotoxicité terrestre kg TEG soil eq / kg
Soil	(unspecified)	Fluchloralin	033245-39-5	33166.61947	1310.754677
Air	(unspecified)	Flucythrinate	070124-77-5	608121.8729	62.1475769
Water	(unspecified)	Flucythrinate	070124-77-5	110712918.8	0.016840137
Soil	(unspecified)	Flucythrinate	070124-77-5	15920.76888	1941.734867
Air	(unspecified)	Fludioxonil	131341-86-1	1263.425572	7.115414375
Water	(unspecified)	Fludioxonil	131341-86-1	266004.2172	0.0000319
Soil	(unspecified)	Fludioxonil	131341-86-1	396.8508826	257.9829483
Air	(unspecified)	Flufenacet	142459-58-3	2062.340952	108.3576776
Water	(unspecified)	Flufenacet	142459-58-3	266455.5608	0.004680762
Soil	(unspecified)	Flufenacet	142459-58-3	3043.804936	2049.063269
Air	(unspecified)	Flumetralin	062924-70-3	45963.25861	13.40081927
Water	(unspecified)	Flumetralin	062924-70-3	11519523.8	0.54299257
Soil	(unspecified)	Flumetralin	062924-70-3	24940.95779	380.2214349
Air	(unspecified)	Flumetsulam	098967-40-9	330.279432	158.5723748
Water	(unspecified)	Flumetsulam	098967-40-9	9412.978904	1.21E-09
Soil	(unspecified)	Flumetsulam	098967-40-9	2422.619692	1904.273106
Air	(unspecified)	Flumiclorac-pentyl	087546-18-7	15.05733774	0.011874053
Water	(unspecified)	Flumiclorac-pentyl	087546-18-7	2421.701223	2.15E-10
Soil	(unspecified)	Flumiclorac-pentyl	087546-18-7	0.010485281	0.332933245
Air	(unspecified)	Fuometuron	002164-17-2	1209.371908	292.2039654
Water	(unspecified)	Fuometuron	002164-17-2	102609.7631	0.004592739
Soil	(unspecified)	Fuometuron	002164-17-2	5733.664356	4362.387506
Air	(unspecified)	Fluoranthene	000206-44-0	1031.704994	1.296539981
Water	(unspecified)	Fluoranthene	000206-44-0	125781.273	0.266088994
Soil	(unspecified)	Fluoranthene	000206-44-0	1064.984217	34.2460592
Air	(unspecified)	Fluorene	000086-73-7	169.8043777	0.744959338
Water	(unspecified)	Fluorene	000086-73-7	95789.37341	0.186115089
Soil	(unspecified)	Fluorene	000086-73-7	448.2450466	194.0948765
Air	(unspecified)	Fluridone	059756-60-4	150.5194766	43.52088831
Water	(unspecified)	Fluridone	059756-60-4	17292.34073	0.002731928
Soil	(unspecified)	Fluridone	059756-60-4	1420.227441	1051.815888
Air	(unspecified)	Fluroxypyr	069377-81-7	124.0017703	121.0417731
Water	(unspecified)	Fluroxypyr	069377-81-7	7543.672871	0.000000108
Soil	(unspecified)	Fluroxypyr	069377-81-7	1567.022058	2764.049455
Air	(unspecified)	Fluthiacet-methyl	117337-19-6	631.2329858	8.226978794
Water	(unspecified)	Fluthiacet-methyl	117337-19-6	99752.85294	0.00000423
Soil	(unspecified)	Fluthiacet-methyl	117337-19-6	11.52318949	213.0289978
Air	(unspecified)	Flutolanil	066332-96-5	44.09702245	0.708224523
Water	(unspecified)	Flutolanil	066332-96-5	20743.01447	0.0000175
Soil	(unspecified)	Flutolanil	066332-96-5	77.98384894	52.03307521
Air	(unspecified)	Fluvalinate	069409-94-5	109870.961	7.413357843
Water	(unspecified)	Fluvalinate	069409-94-5	14540189.82	0.00012053
Soil	(unspecified)	Fluvalinate	069409-94-5	1211.127439	171.5267424
Air	(unspecified)	Fonofos	000944-22-9	1676.797467	4.693845458
Water	(unspecified)	Fonofos	000944-22-9	1993239.265	0.169441516
Soil	(unspecified)	Fonofos	000944-22-9	2431.449673	838.9143269
Air	(unspecified)	Formaldehyde	000050-00-0	1.665956911	2.538668387
Water	(unspecified)	Formaldehyde	000050-00-0	653.3820604	0.004210504
Soil	(unspecified)	Formaldehyde	000050-00-0	21.66582206	183.5931063
Air	(unspecified)	Formetanate hydrochloride	023422-53-9	7.816886645	28.49826867
Water	(unspecified)	Formetanate hydrochloride	023422-53-9	2205.250536	1.79E-15
Soil	(unspecified)	Formetanate hydrochloride	023422-53-9	34.36027688	1487.774643
Air	(unspecified)	Fosamine ammonium salt	025954-13-6	7.394563139	25.34867039
Water	(unspecified)	Fosamine ammonium salt	025954-13-6	488.8693128	5.9E-18
Soil	(unspecified)	Fosamine ammonium salt	025954-13-6	59.07130216	490.6552033
Air	(unspecified)	Glufosinate ammonium	077182-82-2	13.79086371	60.36346127
Water	(unspecified)	Glufosinate ammonium	077182-82-2	1240.853422	7.08E-09
Soil	(unspecified)	Glufosinate ammonium	077182-82-2	151.7771669	1243.348238
Air	(unspecified)	Glutaraldehyde	000111-30-8	73.87806352	186.8344707
Water	(unspecified)	Glutaraldehyde	000111-30-8	6234.253349	0.0682856
Soil	(unspecified)	Glutaraldehyde	000111-30-8	371.0235983	2884.002327
Air	(unspecified)	Glyphosate	001071-83-6	45.55153065	88.61734482
Water	(unspecified)	Glyphosate	001071-83-6	5040.123323	2.37E-19
Soil	(unspecified)	Glyphosate	001071-83-6	1253.816129	4082.077748
Air	(unspecified)	Halofenoxide	112226-61-6	420.5374549	17.08241603
Water	(unspecified)	Halofenoxide	112226-61-6	47250.30838	0.00000473
Soil	(unspecified)	Halofenoxide	112226-61-6	520.222056	354.9529421
Air	(unspecified)	Halosulfuron-methyl	100784-20-1	254.2834344	427.0781148
Water	(unspecified)	Halosulfuron-methyl	100784-20-1	60873.70297	8E-13
Soil	(unspecified)	Halosulfuron-methyl	100784-20-1	16119.83475	44289.59984
Air	(unspecified)	Heptachlor	000076-44-8	2125.683134	2.092039168
Water	(unspecified)	Heptachlor	000076-44-8	3490660.566	0.449490816
Soil	(unspecified)	Heptachlor	000076-44-8	2297.803069	197.1239948
Air	(unspecified)	Heptachlor epoxide	001024-57-3	129235.9929	51.66721863
Water	(unspecified)	Heptachlor epoxide	001024-57-3	32794335.29	29.2162686
Soil	(unspecified)	Heptachlor epoxide	001024-57-3	140739.5596	2999.766605
Air	(unspecified)	Heptane	000142-82-5	0.000008485	0.00000134
Water	(unspecified)	Heptane	000142-82-5	64.0048301	0.000000106
Soil	(unspecified)	Heptane	000142-82-5	0.000224184	0.003301172
Air	(unspecified)	Hexahydro-1,3,5-tris(hydroxyethyl)-s-triazine	004719-04-4	12.31333886	28.00459017
Water	(unspecified)	Hexahydro-1,3,5-tris(hydroxyethyl)-s-triazine	004719-04-4	5057.299796	0.000000269
Soil	(unspecified)	Hexahydro-1,3,5-tris(hydroxyethyl)-s-triazine	004719-04-4	1254.825601	4110.945219
Air	(unspecified)	Hexane	000110-54-3	0.00000625	0.0000159
Water	(unspecified)	Hexane	000110-54-3	915.3819663	0.00000054
Soil	(unspecified)	Hexane	000110-54-3	0.023386928	0.706078104
Air	(unspecified)	Hydramethylnon	067485-29-4	23508.40197	673.9692714
Water	(unspecified)	Hydramethylnon	067485-29-4	38875280.31	36.42459815

Compartiment	Sous-compartiment	Substance	CAS number	Ecotoxicité aquatique kg TEG water eq / kg	Ecotoxicité terrestre kg TEG soil eq / kg
Soil	(unspecified)	Hydramethylnon	067485-29-4	2485633.54	620088.1602
Air	(unspecified)	Hydrazine	000302-01-2	128.0129562	172.2112811
Water	(unspecified)	Hydrazine	000302-01-2	69113.18758	0.449728394
Soil	(unspecified)	Hydrazine	000302-01-2	2222.688232	21739.7541
Air	(unspecified)	Hydrocarbons, aromatic		2495.092583	2.423769648
Water	(unspecified)	Hydrocarbons, aromatic		170998.8562	0.022657874
Soil	(unspecified)	Hydrocarbons, aromatic		1338.51771	28.1183849
Air	(unspecified)	Hymexazol	010004-44-1	1.314469039	2.287359058
Water	(unspecified)	Hymexazol	010004-44-1	863.2056391	0.001598048
Soil	(unspecified)	Hymexazol	010004-44-1	39.38818907	270.0703848
Air	(unspecified)	Imazamox	114311-32-9	284.375391	359.8305911
Water	(unspecified)	Imazamox	114311-32-9	12970.39618	5.24E-17
Soil	(unspecified)	Imazamox	114311-32-9	3324.211684	6930.56952
Air	(unspecified)	Imazapyr	081334-34-1	26.4041727	76.84932903
Water	(unspecified)	Imazapyr	081334-34-1	1449.101339	8.5E-17
Soil	(unspecified)	Imazapyr	081334-34-1	180.9760301	1253.161104
Air	(unspecified)	Imazethapyr	081335-77-5	76.10687915	3.803870088
Water	(unspecified)	Imazethapyr	081335-77-5	3029.576547	4.04E-17
Soil	(unspecified)	Imazethapyr	081335-77-5	772.4408295	63.68862155
Air	(unspecified)	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	000193-39-5	754629.7604	132.4508582
Water	(unspecified)	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	000193-39-5	177695821.9	1.256895456
Soil	(unspecified)	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	000193-39-5	667409.2346	5289.754382
Air	(unspecified)	Indoxacarb	173584-44-6	1963.435486	0.991679847
Water	(unspecified)	Indoxacarb	173584-44-6	326135.5712	1.59E-09
Soil	(unspecified)	Indoxacarb	173584-44-6	61.71118783	28.63949703
Air	(unspecified)	Ioxynil	001689-83-4	1126.516783	8.830908897
Water	(unspecified)	Ioxynil	001689-83-4	2966.666	3.29E-08
Soil	(unspecified)	Ioxynil	001689-83-4	7451.866356	94.83047558
Air	(unspecified)	Iprodione	036734-19-7	204.2956385	18.13210911
Water	(unspecified)	Iprodione	036734-19-7	29273.68647	0.0000838
Soil	(unspecified)	Iprodione	036734-19-7	101.3217599	360.6602753
Air	(unspecified)	Irgarol	028159-98-0	30431.79592	201.4793573
Water	(unspecified)	Irgarol	028159-98-0	2362196.084	0.008999792
Soil	(unspecified)	Irgarol	028159-98-0	4159.637633	2548.169922
Air	(unspecified)	Isofenphos	025311-71-1	198.1912869	1.399150692
Water	(unspecified)	Isofenphos	025311-71-1	163324.1713	0.000188005
Soil	(unspecified)	Isofenphos	025311-71-1	75.4877346	150.1718928
Air	(unspecified)	Isoproturon	034123-59-6	14695.56463	1033.100491
Water	(unspecified)	Isoproturon	034123-59-6	1032074.897	0.003077623
Soil	(unspecified)	Isoproturon	034123-59-6	65487.18474	16516.37714
Air	(unspecified)	Isoxaben	082558-50-7	67.69447358	0.593174166
Water	(unspecified)	Isoxaben	082558-50-7	41737.52123	0.00000167
Soil	(unspecified)	Isoxaben	082558-50-7	26.47471127	60.54077349
Air	(unspecified)	Isoxaflutole	141112-29-0	1874.634247	451.7656012
Water	(unspecified)	Isoxaflutole	141112-29-0	129096.1652	0.000630626
Soil	(unspecified)	Isoxaflutole	141112-29-0	8816.35549	6836.820448
Air	(unspecified)	Kepone	000143-50-0	520010.7172	285.9174318
Water	(unspecified)	Kepone	000143-50-0	32062749.9	1.881635791
Soil	(unspecified)	Kepone	000143-50-0	202875.9663	2894.991043
Air	(unspecified)	Kresoxim-methyl	143390-89-0	897.2321766	30.50451381
Water	(unspecified)	Kresoxim-methyl	143390-89-0	169829.008	0.000246068
Soil	(unspecified)	Kresoxim-methyl	143390-89-0	363.7384827	842.0627849
Air	(unspecified)	Lambda-cyhalothrin	091465-08-6	630646.9413	38.79833766
Water	(unspecified)	Lambda-cyhalothrin	091465-08-6	93756477.84	0.043417957
Soil	(unspecified)	Lambda-cyhalothrin	091465-08-6	48018.00315	980.6112913
Air	(unspecified)	Lead	007439-92-1	40064.46313	130630.4245
Water	(unspecified)	Lead	007439-92-1	263702.7226	0
Soil	(unspecified)	Lead	007439-92-1	263691.4068	753773.6463
Air	(unspecified)	Lindane	000058-89-9	132711.181	491.8471211
Water	(unspecified)	Lindane	000058-89-9	1328449.249	258.1685717
Soil	(unspecified)	Lindane	000058-89-9	558219.5073	25852.1452
Air	(unspecified)	Linuron	000330-55-2	1842.202594	236.1154326
Water	(unspecified)	Linuron	000330-55-2	158563.9706	0.214968953
Soil	(unspecified)	Linuron	000330-55-2	8399.709049	3636.885561
Air	(unspecified)	m-Xylene	000108-38-3	0.203720206	0.008933675
Water	(unspecified)	m-Xylene	000108-38-3	12709.67265	0.002933578
Soil	(unspecified)	m-Xylene	000108-38-3	14.77470664	78.31520556
Air	(unspecified)	Malathion	000121-75-5	381.8482593	55.86850415
Water	(unspecified)	Malathion	000121-75-5	58944.65635	0.000350497
Soil	(unspecified)	Malathion	000121-75-5	273.9173696	1135.379677
Air	(unspecified)	Maleic hydrazide	000123-33-1	4.943825381	23.20036012
Water	(unspecified)	Maleic hydrazide	000123-33-1	389.0690086	8.83E-08
Soil	(unspecified)	Maleic hydrazide	000123-33-1	45.3414868	387.0858516
Air	(unspecified)	Mancozeb	008018-01-7	127.7969168	185.7724813
Water	(unspecified)	Mancozeb	008018-01-7	53936.10016	0.00000536
Soil	(unspecified)	Mancozeb	008018-01-7	4701.915435	18960.92036
Air	(unspecified)	Maneb	012427-38-2	70.6840618	215.7075374
Water	(unspecified)	Maneb	012427-38-2	23369.70877	0.002434683
Soil	(unspecified)	Maneb	012427-38-2	2535.852155	16052.29287
Air	(unspecified)	MCPA	000094-74-6	34.40980985	0.698368308
Water	(unspecified)	MCPA	000094-74-6	2187.754561	4.38E-10
Soil	(unspecified)	MCPA	000094-74-6	327.4522957	13.04784373
Air	(unspecified)	MCPA dimethylamine salt	002039-46-5	15.69506863	0.720362824
Water	(unspecified)	MCPA dimethylamine salt	002039-46-5	1828.919498	0.00000253
Soil	(unspecified)	MCPA dimethylamine salt	002039-46-5	5.465155499	12.80823998
Air	(unspecified)	Mecoprop	000093-65-2	11.30411064	0.496655392
Water	(unspecified)	Mecoprop	000093-65-2	675.5201708	1.45E-10

Compartiment	Sous-compartiment	Substance	CAS number	Ecotoxicité aquatique kg TEG water eq / kg	Ecotoxicité terrestre kg TEG soil eq / kg
Soil	(unspecified)	Mecoprop	000093-65-2	130.8713125	10.06595631
Air	(unspecified)	Mepiquat chloride	024307-26-4	60.4941954	275.5726753
Water	(unspecified)	Mepiquat chloride	024307-26-4	4988.055485	0.00000346
Soil	(unspecified)	Mepiquat chloride	024307-26-4	596.2817233	5012.300729
Air	(unspecified)	Mercury	007439-97-6	786322.6766	3840374.668
Water	(unspecified)	Mercury	007439-97-6	15793725.44	6.93E-08
Soil	(unspecified)	Mercury	007439-97-6	15793725.44	26544638.59
Air	(unspecified)	Metacresol, parachloro-	000059-50-7	92.68050062	1.258556018
Water	(unspecified)	Metacresol, parachloro-	000059-50-7	29757.11666	0.028292746
Soil	(unspecified)	Metacresol, parachloro-	000059-50-7	182.7948874	81.83814733
Air	(unspecified)	Metalaxil	057837-19-1	9.127614869	10.55006217
Water	(unspecified)	Metalaxil	057837-19-1	979.0220937	0.0000736
Soil	(unspecified)	Metalaxil	057837-19-1	59.76878616	200.4721047
Air	(unspecified)	Metalaxyl-M	070630-17-0	20.01108193	21.27271698
Water	(unspecified)	Metalaxyl-M	070630-17-0	2208.987416	0.000148497
Soil	(unspecified)	Metalaxyl-M	070630-17-0	125.6142314	406.7064815
Air	(unspecified)	Metamitron	041394-05-2	122.22524928	187.9664908
Water	(unspecified)	Metamitron	041394-05-2	5444.352088	0.0000054
Soil	(unspecified)	Metamitron	041394-05-2	1640.573427	3765.733403
Air	(unspecified)	Methabenzthiazuron	018691-97-9	4394.117249	447.173835
Water	(unspecified)	Methabenzthiazuron	018691-97-9	392615.7309	0.013194367
Soil	(unspecified)	Methabenzthiazuron	018691-97-9	77699.78812	13232.17135
Air	(unspecified)	Methamidophos	010265-92-6	250.6955363	1128.284351
Water	(unspecified)	Methamidophos	010265-92-6	21232.6892	0.002914267
Soil	(unspecified)	Methamidophos	010265-92-6	2484.473451	20768.62712
Air	(unspecified)	Methane, bromo-, Halon 1001	000074-83-9	65.82542474	43.31781709
Water	(unspecified)	Methane, bromo-, Halon 1001	000074-83-9	49732.97889	12.12909315
Soil	(unspecified)	Methane, bromo-, Halon 1001	000074-83-9	210.0942453	5566.047106
Air	(unspecified)	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	000353-59-3	0.64769125	0.876533146
Water	(unspecified)	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	000353-59-3	300.1604462	0.184769632
Soil	(unspecified)	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	000353-59-3	0.68397014	9.5823368
Air	(unspecified)	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	000075-63-8	0.734548365	4.055761039
Water	(unspecified)	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	000075-63-8	331.2097954	0.875445009
Soil	(unspecified)	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	000075-63-8	0.655435024	13.89872648
Air	(unspecified)	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	000075-45-6	0.009368608	0.185281675
Water	(unspecified)	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	000075-45-6	5.886920598	0.000482177
Soil	(unspecified)	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	000075-45-6	0.008247378	0.697563383
Air	(unspecified)	Methane, chlorofluoro-, HCFC-31	000593-70-4	0.038102636	0.063784602
Water	(unspecified)	Methane, chlorofluoro-, HCFC-31	000593-70-4	26.31497269	0.005719995
Soil	(unspecified)	Methane, chlorofluoro-, HCFC-31	000593-70-4	0.075244591	4.391478559
Air	(unspecified)	Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	000075-72-9	0.214299865	4.516172872
Water	(unspecified)	Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	000075-72-9	461.4203945	1.054406901
Soil	(unspecified)	Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	000075-72-9	0.200548533	25.93695031
Air	(unspecified)	Methane, dichloro-, HCC-30	000075-09-2	0.841118043	0.496474708
Water	(unspecified)	Methane, dichloro-, HCC-30	000075-09-2	1016.504732	0.302576199
Soil	(unspecified)	Methane, dichloro-, HCC-30	000075-09-2	16.16747196	559.3612051
Air	(unspecified)	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	000075-71-8	0.413013398	0.918213886
Water	(unspecified)	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	000075-71-8	8086.684872	0.456037137
Soil	(unspecified)	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	000075-71-8	3.705203676	366.2445923
Air	(unspecified)	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	000075-43-4	0.58460002	0.33529934
Water	(unspecified)	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	000075-43-4	468.2080024	0.078391842
Soil	(unspecified)	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	000075-43-4	1.405810003	28.05428159
Air	(unspecified)	Methane, difluoro-, HFC-32	000075-10-5	0.00706914	0.237253677
Water	(unspecified)	Methane, difluoro-, HFC-32	000075-10-5	34.37041753	0.022922748
Soil	(unspecified)	Methane, difluoro-, HFC-32	000075-10-5	0.009030592	6.669899725
Air	(unspecified)	Methane, tetrachloro-, CFC-10	000056-23-5	3.119652039	1.081453985
Water	(unspecified)	Methane, tetrachloro-, CFC-10	000056-23-5	4319.470748	0.616427913
Soil	(unspecified)	Methane, tetrachloro-, CFC-10	000056-23-5	12.04339134	156.0508084
Air	(unspecified)	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	000075-73-0	0.039191906	10.47185273
Water	(unspecified)	Methane, tetrafluoro-, FC-14	000075-73-0	188.2533887	0.88289258
Soil	(unspecified)	Methane, tetrafluoro-, FC-14	000075-73-0	0.033855826	25.38880681
Air	(unspecified)	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	000075-69-4	3.392971889	2.611050422
Water	(unspecified)	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	000075-69-4	13478.50686	2.371411954
Soil	(unspecified)	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	000075-69-4	55.94057161	1940.531904
Air	(unspecified)	Methanol	000067-56-1	0.103295695	0.062032693
Water	(unspecified)	Methanol	000067-56-1	7.488886381	0.000663053
Soil	(unspecified)	Methanol	000067-56-1	0.257925353	3.430331942
Air	(unspecified)	Methidathion	000950-37-8	412.6336261	196.8723738
Water	(unspecified)	Methidathion	000950-37-8	164021.829	0.003251624
Soil	(unspecified)	Methidathion	000950-37-8	4286.934483	11304.59113
Air	(unspecified)	Methiocarb	002032-65-7	131.7451587	13.88117774
Water	(unspecified)	Methiocarb	002032-65-7	17348.41393	0.00000389
Soil	(unspecified)	Methiocarb	002032-65-7	10.21095529	258.2413337
Air	(unspecified)	Methomyl	016752-77-5	79797.24713	13458.98432
Water	(unspecified)	Methomyl	016752-77-5	2983568.038	0.333657882
Soil	(unspecified)	Methomyl	016752-77-5	796012.7678	179138.4682
Air	(unspecified)	Methoxychlor	000072-43-5	16821.37984	112.4267206
Water	(unspecified)	Methoxychlor	000072-43-5	2634247.827	0.080937656
Soil	(unspecified)	Methoxychlor	000072-43-5	5433.589177	2508.494357
Air	(unspecified)	Methoxyfenozide	161050-58-4	400.0006023	5.695475285
Water	(unspecified)	Methoxyfenozide	161050-58-4	62246.20289	0.000000163
Soil	(unspecified)	Methoxyfenozide	161050-58-4	234.8263795	157.3157705
Air	(unspecified)	Methyl ethyl ketone	000078-93-3	0.139949664	0.023292789
Water	(unspecified)	Methyl ethyl ketone	000078-93-3	22.69377621	0.001457697
Soil	(unspecified)	Methyl ethyl ketone	000078-93-3	0.437164802	4.366322359
Air	(unspecified)	Methyl isothiocyanate	000556-61-6	2587.415367	320.6968233
Water	(unspecified)	Methyl isothiocyanate	000556-61-6	310579.8533	18.51295266

Compartiment	Sous-compartiment	Substance	CAS number	Ecotoxicité aquatique kg TEG water eq / kg	Ecotoxicité terrestre kg TEG soil eq / kg
Soil	(unspecified)	Methyl isothiocyanate	000556-61-6	6325.915698	39417.36489
Air	(unspecified)	Methylenebis (thiocyanate)	006317-18-6	1820.316426	5223.85599
Water	(unspecified)	Methylenebis (thiocyanate)	006317-18-6	215036.8045	0.416283701
Soil	(unspecified)	Methylenebis (thiocyanate)	006317-18-6	17521.11409	116896.0057
Air	(unspecified)	Metolachlor	051218-45-2	5104.676544	238.5956153
Water	(unspecified)	Metolachlor	051218-45-2	310138.9557	0.084155554
Soil	(unspecified)	Metolachlor	051218-45-2	17864.16359	2611.567143
Air	(unspecified)	Metolachlor, (S)	087392-12-9	1453.661179	149.0109435
Water	(unspecified)	Metolachlor, (S)	087392-12-9	297951.4547	0.010931675
Soil	(unspecified)	Metolachlor, (S)	087392-12-9	6324.749904	4356.475007
Air	(unspecified)	Metribuzin	021087-64-9	3858.337882	1332.404295
Water	(unspecified)	Metribuzin	021087-64-9	150817.9505	6.23E-09
Soil	(unspecified)	Metribuzin	021087-64-9	70786.56838	30474.05404
Air	(unspecified)	Metronidazole	000443-48-1	2.068855306	8.478016624
Water	(unspecified)	Metronidazole	000443-48-1	165.0726639	0.00000004
Soil	(unspecified)	Metronidazole	000443-48-1	19.53296804	152.5366382
Air	(unspecified)	Mevinfos	007786-34-7	4931.178647	10345.17833
Water	(unspecified)	Mevinfos	007786-34-7	642154.051	0.002102802
Soil	(unspecified)	Mevinfos	007786-34-7	45632.27841	245857.2193
Air	(unspecified)	Mirex	002385-85-5	17.00788641	0.108659109
Water	(unspecified)	Mirex	002385-85-5	7251.34601	0.001416292
Soil	(unspecified)	Mirex	002385-85-5	29.87221035	4.791817391
Air	(unspecified)	Molinate	002212-67-1	15.25448621	0.215692567
Water	(unspecified)	Molinate	002212-67-1	6841.913646	0.002058676
Soil	(unspecified)	Molinate	002212-67-1	17.18076134	14.84623298
Air	(unspecified)	Monolinuron	001746-81-2	137.6399334	31.72255796
Water	(unspecified)	Monolinuron	001746-81-2	9800.813887	0.013053724
Soil	(unspecified)	Monolinuron	001746-81-2	514.8324477	387.6473058
Air	(unspecified)	Myclobutanil	088671-89-0	1066.076523	99.33887346
Water	(unspecified)	Myclobutanil	088671-89-0	107372.247	0.003504877
Soil	(unspecified)	Myclobutanil	088671-89-0	2150.959885	1476.208222
Air	(unspecified)	N-Nitrosodiethylamine	000055-18-5	0.072988316	22.62881951
Water	(unspecified)	N-Nitrosodiethylamine	000055-18-5	3.31879829	0.0000132
Soil	(unspecified)	N-Nitrosodiethylamine	000055-18-5	1.273899696	495.1700492
Air	(unspecified)	Nabam	000142-59-6	497.4958567	959.7542037
Water	(unspecified)	Nabam	000142-59-6	92011.01013	1.3E-11
Soil	(unspecified)	Nabam	000142-59-6	23189.64389	74370.12378
Air	(unspecified)	Naled	000300-76-5	1315.99229	60.95465503
Water	(unspecified)	Naled	000300-76-5	671274.1502	7.78879846
Soil	(unspecified)	Naled	000300-76-5	20855.76211	51130.0225
Air	(unspecified)	Naphthalene	000091-20-3	6.500064046	0.155997728
Water	(unspecified)	Naphthalene	000091-20-3	28014.24913	0.018838414
Soil	(unspecified)	Naphthalene	000091-20-3	94.41446314	290.3709358
Air	(unspecified)	Napropamide	015299-99-7	5.864728905	0.201182448
Water	(unspecified)	Napropamide	015299-99-7	4060.175292	0.000000404
Soil	(unspecified)	Napropamide	015299-99-7	9.416416189	22.15776416
Air	(unspecified)	Nickel	007440-02-0	178699.7077	562703.0874
Soil	(unspecified)	Nickel	007440-02-0	1264151.375	3297056.854
Water	(unspecified)	Nickel, ion	1272011.697		0
Air	(unspecified)	Nitrapyrin	001929-82-4	488.6295343	2.306443518
Water	(unspecified)	Nitrapyrin	001929-82-4	53362.63693	0.186201705
Soil	(unspecified)	Nitrapyrin	001929-82-4	466.4535697	62.15633488
Air	(unspecified)	Norflurazon	027314-13-2	813.7360123	211.3184257
Water	(unspecified)	Norflurazon	027314-13-2	66426.26411	0.000480805
Soil	(unspecified)	Norflurazon	027314-13-2	4656.999394	3661.438982
Air	(unspecified)	o-Xylene	000095-47-6	0.211750457	0.008379442
Water	(unspecified)	o-Xylene	000095-47-6	9547.676065	0.002749392
Soil	(unspecified)	o-Xylene	000095-47-6	13.74222846	65.94503988
Air	(unspecified)	Oryzalin	019044-88-3	3866.749145	54.63722301
Water	(unspecified)	Oryzalin	019044-88-3	503294.1414	0.000789782
Soil	(unspecified)	Oryzalin	019044-88-3	1791.57681	1182.974583
Air	(unspecified)	Oxamyl	023135-22-0	461.5342587	1251.330734
Water	(unspecified)	Oxamyl	023135-22-0	33013.79914	0.00000252
Soil	(unspecified)	Oxamyl	023135-22-0	6183.471653	29003.83683
Air	(unspecified)	Oxazolidine E	007747-35-5	17.29493898	31.2140558
Water	(unspecified)	Oxazolidine E	007747-35-5	1706.91216	0.003654683
Soil	(unspecified)	Oxazolidine E	007747-35-5	329.2384366	925.4968588
Air	(unspecified)	Oxydemeton methyl	000301-12-2	154.0712346	30.8060121
Water	(unspecified)	Oxydemeton methyl	000301-12-2	50961.60005	5.23E-08
Soil	(unspecified)	Oxydemeton methyl	000301-12-2	1078.489693	1693.669338
Air	(unspecified)	Oxydiazon	019666-30-9	2182.866616	2.941507938
Water	(unspecified)	Oxydiazon	019666-30-9	311698.1836	0.001555108
Soil	(unspecified)	Oxydiazon	019666-30-9	211.265035	62.79178768
Air	(unspecified)	Oxyfluorfen	042874-03-3	7263.536913	11.47836683
Water	(unspecified)	Oxyfluorfen	042874-03-3	1360623.662	0.079360663
Soil	(unspecified)	Oxyfluorfen	042874-03-3	3623.629252	269.0470103
Air	(unspecified)	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	130498-29-2	2495.092583	2.423769648
Water	(unspecified)	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	130498-29-2	170998.8562	0.022657874
Soil	(unspecified)	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	130498-29-2	1338.51771	28.1183849
Air	(unspecified)	Paraquat	004685-14-7	410.9187442	920.9587205
Water	(unspecified)	Paraquat	004685-14-7	24016.43284	0.0000025
Soil	(unspecified)	Paraquat	004685-14-7	6054.550267	19406.17989
Air	(unspecified)	Parathion	000056-38-2	15561.92939	181.5747715
Water	(unspecified)	Parathion	000056-38-2	3325894.096	0.696214155
Soil	(unspecified)	Parathion	000056-38-2	16061.50804	4129.605458
Air	(unspecified)	Parathion, methyl	000298-00-0	2821.781849	156.7460483
Water	(unspecified)	Parathion, methyl	000298-00-0	386097.6378	0.214398657

Compartiment	Sous-compartiment	Substance	CAS number	Ecotoxicité aquatique kg TEG water eq / kg	Ecotoxicité terrestre kg TEG soil eq / kg
Soil	(unspecified)	Parathion, methyl	000298-00-0	8060.927011	3074.484761
Air	(unspecified)	Pebulate	001114-71-2	2.705048573	0.009927004
Water	(unspecified)	Pebulate	001114-71-2	6600.468645	0.000573862
Soil	(unspecified)	Pebulate	001114-71-2	3.185611522	2.398803413
Air	(unspecified)	Pendimethalin	040487-42-1	1039.287529	0.714286922
Water	(unspecified)	Pendimethalin	040487-42-1	311668.3508	0.004332914
Soil	(unspecified)	Pendimethalin	040487-42-1	313.0969491	21.93805468
Air	(unspecified)	Pentane	000109-66-0	0.007863501	0.003721359
Water	(unspecified)	Pentane	000109-66-0	76222.42298	0.001315958
Soil	(unspecified)	Pentane	000109-66-0	4.211616315	254.0862385
Air	(unspecified)	Pentanedinitrile, 2-bromo-2-(bromomethyl)-	035691-65-7	529.8923155	365.4175913
Water	(unspecified)	Pentanedinitrile, 2-bromo-2-(bromomethyl)-	035691-65-7	25641.39892	0.001202471
Soil	(unspecified)	Pentanedinitrile, 2-bromo-2-(bromomethyl)-	035691-65-7	4070.842916	4860.510156
Air	(unspecified)	Permethrin	052645-53-1	40802.80668	3.211898846
Water	(unspecified)	Permethrin	052645-53-1	4704344.472	0.000241616
Soil	(unspecified)	Permethrin	052645-53-1	640.2646751	64.8425867
Air	(unspecified)	Phenanthrene	000085-01-8	1636.670669	3.969626725
Water	(unspecified)	Phenanthrene	000085-01-8	570296.9039	0.7940258
Soil	(unspecified)	Phenanthrene	000085-01-8	2326.340644	479.2344876
Air	(unspecified)	Phenmedipham	013684-63-4	0.006717115	0.000126294
Water	(unspecified)	Phenmedipham	013684-63-4	3.222669111	1.82E-23
Soil	(unspecified)	Phenmedipham	013684-63-4	0.000331616	0.010368209
Air	(unspecified)	Phenol	000108-95-2	0.977132063	3.298035017
Water	(unspecified)	Phenol	000108-95-2	170.7560261	0.000865674
Soil	(unspecified)	Phenol	000108-95-2	6.074076433	102.2726175
Air	(unspecified)	Phenol, 3-trifluoromethyl-4-nitro-	000088-30-2	308.409801	18.93912077
Water	(unspecified)	Phenol, 3-trifluoromethyl-4-nitro-	000088-30-2	14595.28804	0.00034704
Soil	(unspecified)	Phenol, 3-trifluoromethyl-4-nitro-	000088-30-2	1730.201501	203.9600668
Air	(unspecified)	Phenol, 4-chloro-	000106-48-9	26.11550099	17.96408476
Water	(unspecified)	Phenol, 4-chloro-	000106-48-9	2573.934017	0.019290647
Soil	(unspecified)	Phenol, 4-chloro-	000106-48-9	86.89879671	366.4061559
Air	(unspecified)	Phenol, pentachloro-	000087-86-5	11282.79151	12.16085791
Water	(unspecified)	Phenol, pentachloro-	000087-86-5	448776.6454	0.0000201
Soil	(unspecified)	Phenol, pentachloro-	000087-86-5	52924.81792	135.3572703
Air	(unspecified)	Phorate	000298-02-2	638.1955035	6.524477936
Water	(unspecified)	Phorate	000298-02-2	2638430.521	0.161754043
Soil	(unspecified)	Phorate	000298-02-2	10695.65859	9907.293784
Air	(unspecified)	Phosmet	000732-11-6	193.2903577	29.35900216
Water	(unspecified)	Phosmet	000732-11-6	90757.69564	0.000557351
Soil	(unspecified)	Phosmet	000732-11-6	744.9783448	1793.023703
Air	(unspecified)	Phosphamidon	013171-21-6	131.5563429	312.3216276
Water	(unspecified)	Phosphamidon	013171-21-6	13123.23637	0.0000011
Soil	(unspecified)	Phosphamidon	013171-21-6	1451.440639	8486.654525
Air	(unspecified)	Phoxim	014816-18-3	109.8680438	0.807071965
Water	(unspecified)	Phoxim	014816-18-3	170874.246	0.015138081
Soil	(unspecified)	Phoxim	014816-18-3	258.9402713	238.175362
Air	(unspecified)	Phthalate, butyl-benzyl-	000085-68-7	176.710712	0.919653998
Water	(unspecified)	Phthalate, butyl-benzyl-	000085-68-7	34049.02645	0.004292358
Soil	(unspecified)	Phthalate, butyl-benzyl-	000085-68-7	97.75438104	16.24083815
Air	(unspecified)	Phthalate, dibutyl-	000084-74-2	210.6356526	0.916631243
Water	(unspecified)	Phthalate, dibutyl-	000084-74-2	42501.55537	0.006234579
Soil	(unspecified)	Phthalate, dibutyl-	000084-74-2	126.6684553	16.54611901
Air	(unspecified)	Phthalate, diethyl-	000084-66-2	28.13752319	6.873299038
Water	(unspecified)	Phthalate, diethyl-	000084-66-2	1900.88853	0.01370337
Soil	(unspecified)	Phthalate, diethyl-	000084-66-2	70.52915281	85.95239057
Air	(unspecified)	Phthalate, dimethyl-	000131-11-3	15.62453307	9.600751909
Water	(unspecified)	Phthalate, dimethyl-	000131-11-3	644.91673	0.004738737
Soil	(unspecified)	Phthalate, dimethyl-	000131-11-3	49.3641855	82.91397045
Air	(unspecified)	Phthalate, dioctyl-	000117-81-7	38.4266924	0.044128466
Water	(unspecified)	Phthalate, dioctyl-	000117-81-7	11340.24219	0.001412334
Soil	(unspecified)	Phthalate, dioctyl-	000117-81-7	28.5578057	1.198831682
Air	(unspecified)	Phthalate, n-dioctyl-	000117-84-0	0.041088734	0.00000232
Water	(unspecified)	Phthalate, n-dioctyl-	000117-84-0	4.509082968	3.95E-10
Soil	(unspecified)	Phthalate, n-dioctyl-	000117-84-0	0.001707432	0.0000447
Air	(unspecified)	Pirimicarb	023103-98-2	145.063646	136.6448978
Water	(unspecified)	Pirimicarb	023103-98-2	15167.01596	0.000017
Soil	(unspecified)	Pirimicarb	023103-98-2	6670.401759	7850.442299
Air	(unspecified)	Polychlorinated biphenyls	001336-36-3	5696.414291	0.634286507
Water	(unspecified)	Polychlorinated biphenyls	001336-36-3	2079442.629	0.012213955
Soil	(unspecified)	Polychlorinated biphenyls	001336-36-3	3964.227768	7.670897482
Air	(unspecified)	Potassium N-methyldithiocarbamate	000137-41-7	0.89498796	0.119348349
Water	(unspecified)	Potassium N-methyldithiocarbamate	000137-41-7	5733.476281	0.008389654
Soil	(unspecified)	Potassium N-methyldithiocarbamate	000137-41-7	58.22344217	974.1529578
Air	(unspecified)	Prochloraz	067747-09-5	1793.842062	3.380049313
Water	(unspecified)	Prochloraz	067747-09-5	211673.5832	0.00000026
Soil	(unspecified)	Prochloraz	067747-09-5	49476.99979	149.9514781
Air	(unspecified)	Prodiamine	029091-21-2	1635.468053	6.33867223
Water	(unspecified)	Prodiamine	029091-21-2	497940.4772	0.162254958
Soil	(unspecified)	Prodiamine	029091-21-2	2309.680365	221.4118144
Air	(unspecified)	Prometon	001610-18-0	93.16947062	2.272647516
Water	(unspecified)	Prometon	001610-18-0	7386.762132	0.000000127
Soil	(unspecified)	Prometon	001610-18-0	1780.906885	65.46080972
Air	(unspecified)	Prometryn	007287-19-6	5765.697906	43.75007419
Water	(unspecified)	Prometryn	007287-19-6	458714.957	0.00000558
Soil	(unspecified)	Prometryn	007287-19-6	108720.9187	1246.21327
Air	(unspecified)	Pronamide	023950-58-5	334.0394134	17.33696219
Water	(unspecified)	Pronamide	023950-58-5	31717.8369	0.004039941

Compartment	Sous-compartment	Substance	CAS number	Ecotoxicité aquatique kg TEG water eq / kg	Ecotoxicité terrestre kg TEG soil eq / kg
Soil	(unspecified)	Pronamide	023950-58-5	1129.974088	269.9587104
Air	(unspecified)	Propachlor	001918-16-7	2056.162347	499.1735756
Water	(unspecified)	Propachlor	001918-16-7	199587.995	0.227883901
Soil	(unspecified)	Propachlor	001918-16-7	5885.91402	7362.252169
Air	(unspecified)	Propamocarb	024579-73-5	10.03111489	12.45431233
Water	(unspecified)	Propamocarb	024579-73-5	1200.629845	0.000172204
Soil	(unspecified)	Propamocarb	024579-73-5	239.8633146	456.7978259
Air	(unspecified)	Propanal	000123-38-6	0.187807747	0.024056673
Water	(unspecified)	Propanal	000123-38-6	405.1459323	0.001012922
Soil	(unspecified)	Propanal	000123-38-6	3.597837747	64.83962391
Air	(unspecified)	Propane	000074-98-6	0.004885922	0.016661657
Water	(unspecified)	Propane	000074-98-6	3371.427139	0.001674382
Soil	(unspecified)	Propane	000074-98-6	0.112056003	32.72231253
Air	(unspecified)	Propanil	000709-98-8	424.3564476	31.20721255
Water	(unspecified)	Propanil	000709-98-8	37624.19746	0.004748344
Soil	(unspecified)	Propanil	000709-98-8	563.3484061	366.3034424
Air	(unspecified)	Propargite	002312-35-8	1450.928972	1.213447831
Water	(unspecified)	Propargite	002312-35-8	332242.6712	0.000355458
Soil	(unspecified)	Propargite	002312-35-8	116.2959518	44.39378065
Air	(unspecified)	Propazine	000139-40-2	2180.206721	59.8039134
Water	(unspecified)	Propazine	000139-40-2	176245.4977	1.21E-08
Soil	(unspecified)	Propazine	000139-40-2	43939.89776	1772.720076
Air	(unspecified)	Propene	000115-07-1	0.000355226	0.00056564
Water	(unspecified)	Propene	000115-07-1	909.7506459	0.0001358
Soil	(unspecified)	Propene	000115-07-1	0.213021056	53.40791853
Air	(unspecified)	Propiconazole	060207-90-1	2367.745821	9.508726063
Water	(unspecified)	Propiconazole	060207-90-1	131869.6105	3.7E-10
Soil	(unspecified)	Propiconazole	060207-90-1	34155.33836	214.1661627
Air	(unspecified)	Propineb	012071-83-9	52.55307582	12.60246686
Water	(unspecified)	Propineb	012071-83-9	20369.18559	0.029285395
Soil	(unspecified)	Propineb	012071-83-9	386.1117633	689.4327132
Air	(unspecified)	Propionic acid, 2,2-Dichloro-	000075-99-0	30.32175338	274.4895578
Water	(unspecified)	Propionic acid, 2,2-Dichloro-	000075-99-0	765.4272211	0.000000322
Soil	(unspecified)	Propionic acid, 2,2-Dichloro-	000075-99-0	259.001054	2973.263537
Air	(unspecified)	Propoxur	000114-26-1	1639.138181	1056.559149
Water	(unspecified)	Propoxur	000114-26-1	159956.3035	0.022199044
Soil	(unspecified)	Propoxur	000114-26-1	34587.36277	33511.5849
Air	(unspecified)	Prosulfuron	094125-34-5	3874.258894	21.86599951
Water	(unspecified)	Prosulfuron	094125-34-5	104973.1883	1.61E-08
Soil	(unspecified)	Prosulfuron	094125-34-5	26805.20686	247.4264904
Air	(unspecified)	Pymetrozine	123312-89-0	11.56807916	47.35410716
Water	(unspecified)	Pymetrozine	123312-89-0	825.8492475	0.00000361
Soil	(unspecified)	Pymetrozine	123312-89-0	100.1917507	780.0921206
Air	(unspecified)	Pyrene	000129-00-0	19373.18411	23.86041967
Water	(unspecified)	Pyrene	000129-00-0	2532685.438	5.835177904
Soil	(unspecified)	Pyrene	000129-00-0	20623.66842	746.9111193
Air	(unspecified)	Pyrethrin	000121-29-9	3839.444453	0.42860069
Water	(unspecified)	Pyrethrin	000121-29-9	3703275.212	0.001022963
Soil	(unspecified)	Pyrethrin	000121-29-9	615.8774645	63.60797715
Air	(unspecified)	Pyridaben	096489-71-3	5905.482708	0.684931331
Water	(unspecified)	Pyridaben	096489-71-3	7814450.18	0.035812979
Soil	(unspecified)	Pyridaben	096489-71-3	4140.736349	42.34075327
Air	(unspecified)	Pyridate	055512-33-9	272.1999367	0.051281121
Water	(unspecified)	Pyridate	055512-33-9	26659.46354	8.75E-08
Soil	(unspecified)	Pyridate	055512-33-9	2.915881077	0.886534487
Air	(unspecified)	Pyriproxyfen	095737-68-1	1102.437347	0.28454617
Water	(unspecified)	Pyriproxyfen	095737-68-1	214910.8742	0.000000323
Soil	(unspecified)	Pyriproxyfen	095737-68-1	7.879163332	9.616869072
Air	(unspecified)	Pyriproxyfen sodium salt	123343-16-8	21.98013974	29.90096356
Water	(unspecified)	Pyriproxyfen sodium salt	123343-16-8	5018.854222	1.13E-16
Soil	(unspecified)	Pyriproxyfen sodium salt	123343-16-8	1302.327019	2921.556907
Air	(unspecified)	Quizalofop ethyl ester	076578-14-8	721.8591949	2.752270613
Water	(unspecified)	Quizalofop ethyl ester	076578-14-8	93486.41935	6.18E-08
Soil	(unspecified)	Quizalofop ethyl ester	076578-14-8	28.18678845	62.583781
Air	(unspecified)	Resmethrin	010453-86-8	8393.897402	0.924977745
Water	(unspecified)	Resmethrin	010453-86-8	7238135.015	0.000157284
Soil	(unspecified)	Resmethrin	010453-86-8	303.1336248	132.6841475
Air	(unspecified)	Rimsulfuron	122931-48-0	171.8877578	298.757936
Water	(unspecified)	Rimsulfuron	122931-48-0	36833.64886	0.00000136
Soil	(unspecified)	Rimsulfuron	122931-48-0	9742.803846	24698.88624
Air	(unspecified)	Roundup	038641-94-0	0.012183338	0.082914587
Water	(unspecified)	Roundup	038641-94-0	3.724503366	4.21E-27
Soil	(unspecified)	Roundup	038641-94-0	0.002083607	4.37457845
Air	(unspecified)	Selenium	007782-49-2	477540.2389	9323.413675
Water	(unspecified)	Selenium	007782-49-2	3402775.299	0
Soil	(unspecified)	Selenium	007782-49-2	3391945.122	54316.91662
Air	(unspecified)	Sethoxydim	074051-80-2	91.79750058	0.145978851
Water	(unspecified)	Sethoxydim	074051-80-2	24703.15781	9.3E-11
Soil	(unspecified)	Sethoxydim	074051-80-2	2861.678452	11.21672888
Air	(unspecified)	Siduron	001982-49-6	37.35915087	0.431594794
Water	(unspecified)	Siduron	001982-49-6	8516.33821	7.34E-08
Soil	(unspecified)	Siduron	001982-49-6	7.365145293	17.0297545
Air	(unspecified)	Simazine	000122-34-9	395.3983818	84.9794887
Water	(unspecified)	Simazine	000122-34-9	15703.8261	4.97E-09
Soil	(unspecified)	Simazine	000122-34-9	6425.625236	1742.475214
Air	(unspecified)	Sodium dalapon	000127-20-8	119.4545351	187.3410223
Water	(unspecified)	Sodium dalapon	000127-20-8	3455.228737	0.16559812

Compartiment	Sous-compartiment	Substance	CAS number	Ecotoxicité aquatique kg TEG water eq / kg	Ecotoxicité terrestre kg TEG soil eq / kg
Soil	(unspecified)	Sodium dalapon	000127-20-8	476.2332747	1517.074592
Air	(unspecified)	Sodium lauryl sulfate	000151-21-3	47.5469265	32.13962371
Water	(unspecified)	Sodium lauryl sulfate	000151-21-3	4778.511331	0.013750865
Soil	(unspecified)	Sodium lauryl sulfate	000151-21-3	174.4930201	534.8194595
Air	(unspecified)	Starane	081406-37-3	12.44472582	0.032466564
Water	(unspecified)	Starane	081406-37-3	2262.045213	0.00000236
Soil	(unspecified)	Starane	081406-37-3	0.1107817408	0.852622079
Air	(unspecified)	Styrene	000100-42-5	0.046586728	0.002015529
Water	(unspecified)	Styrene	000100-42-5	3233.024213	0.000267827
Soil	(unspecified)	Styrene	000100-42-5	3.741183222	22.52124203
Air	(unspecified)	Sulfentrazone	122836-35-5	912.2294173	926.9421084
Water	(unspecified)	Sulfentrazone	122836-35-5	46128.743	0.00000116
Soil	(unspecified)	Sulfentrazone	122836-35-5	11607.77173	19473.58115
Air	(unspecified)	Sulfometuron methyl	074222-97-2	120.3761612	91.0576041
Water	(unspecified)	Sulfometuron methyl	074222-97-2	7399.588163	3.97E-09
Soil	(unspecified)	Sulfometuron methyl	074222-97-2	1919.281351	2379.008244
Air	(unspecified)	Sulfosulfuron	141776-32-1	72.02761113	73.29948015
Water	(unspecified)	Sulfosulfuron	141776-32-1	17027.03436	3.72E-09
Soil	(unspecified)	Sulfosulfuron	141776-32-1	4539.767018	7027.927862
Air	(unspecified)	t-Butyl methyl ether	001634-04-4	0.334733532	0.069664897
Water	(unspecified)	t-Butyl methyl ether	001634-04-4	425.7192556	0.035347948
Soil	(unspecified)	t-Butyl methyl ether	001634-04-4	12.25828372	199.6353755
Air	(unspecified)	Tebuconazole	080443-41-0	1055.260002	14.84461498
Water	(unspecified)	Tebuconazole	080443-41-0	88300.94943	0.0000168
Soil	(unspecified)	Tebuconazole	080443-41-0	333.3684225	223.0927822
Air	(unspecified)	Tebufenozide	112410-23-8	746.4805678	3.409512402
Water	(unspecified)	Tebufenozide	112410-23-8	120587.6766	0.000321387
Soil	(unspecified)	Tebufenozide	112410-23-8	145.1151883	85.815599354
Air	(unspecified)	Tebuthiuron	034014-18-1	203.8097594	65.05427285
Water	(unspecified)	Tebuthiuron	034014-18-1	9333.032109	1.09E-10
Soil	(unspecified)	Tebuthiuron	034014-18-1	2325.588744	1118.604742
Air	(unspecified)	Tefluthrin	079538-32-2	10611.41846	4.197741461
Water	(unspecified)	Tefluthrin	079538-32-2	88256488.58	0.232146859
Soil	(unspecified)	Tefluthrin	079538-32-2	9852.215899	276.471989
Air	(unspecified)	Tepraloxymid	149979-41-9	3.268960635	0.126790692
Water	(unspecified)	Tepraloxymid	149979-41-9	1444.074519	6.84E-10
Soil	(unspecified)	Tepraloxymid	149979-41-9	14.8771769	10.13959852
Air	(unspecified)	Terbacil	005902-51-2	636.3475569	302.1736634
Water	(unspecified)	Terbacil	005902-51-2	41937.16998	0.000321089
Soil	(unspecified)	Terbacil	005902-51-2	5134.739179	5106.880223
Air	(unspecified)	Terbufos	013071-79-9	1281.569734	1.686267812
Water	(unspecified)	Terbufos	013071-79-9	6804281.835	0.04850389
Soil	(unspecified)	Terbufos	013071-79-9	1298.846165	777.4893742
Air	(unspecified)	Terbuthylazin	005915-41-3	21473.81286	318.9926319
Water	(unspecified)	Terbuthylazin	005915-41-3	1237860.821	0.00000104
Soil	(unspecified)	Terbuthylazin	005915-41-3	308540.4874	6573.098983
Air	(unspecified)	Terbutryn	000886-50-0	1245.648894	6.036659157
Water	(unspecified)	Terbutryn	000886-50-0	68095.96244	0.00000119
Soil	(unspecified)	Terbutryn	000886-50-0	14704.58635	113.5020001
Air	(unspecified)	Terephthalate, dimethyl 2,3,5,6-tetrachloro-	001861-32-1	0.768546252	0.940129362
Water	(unspecified)	Terephthalate, dimethyl 2,3,5,6-tetrachloro-	001861-32-1	76.5498865	0.0000891
Soil	(unspecified)	Terephthalate, dimethyl 2,3,5,6-tetrachloro-	001861-32-1	0.619840857	11.48164684
Air	(unspecified)	Tetrachlorvinphos ((Z)-isomer)	022248-79-9	2972.703085	66.98742461
Water	(unspecified)	Tetrachlorvinphos ((Z)-isomer)	022248-79-9	396813.7118	0.000900816
Soil	(unspecified)	Tetrachlorvinphos ((Z)-isomer)	022248-79-9	2193.360591	1469.763365
Air	(unspecified)	Thiabendazole	000148-79-8	223.6741626	27.52428674
Water	(unspecified)	Thiabendazole	000148-79-8	30960.64343	6.7E-09
Soil	(unspecified)	Thiabendazole	000148-79-8	3685.058844	1088.315375
Air	(unspecified)	Thiazole, 2-(thiocyanatethylthio)benzo-	021564-17-0	4327.689077	78.37985311
Water	(unspecified)	Thiazole, 2-(thiocyanatethylthio)benzo-	021564-17-0	836195.7471	2.36E-13
Soil	(unspecified)	Thiazole, 2-(thiocyanatethylthio)benzo-	021564-17-0	103730.4744	4452.477675
Air	(unspecified)	Thiazopyr	117718-60-2	1104.456636	10.87532392
Water	(unspecified)	Thiazopyr	117718-60-2	216227.9972	0.036260257
Soil	(unspecified)	Thiazopyr	117718-60-2	765.307606	215.8907566
Air	(unspecified)	Thidiazuron	051707-55-2	43.08887501	32.32279455
Water	(unspecified)	Thidiazuron	051707-55-2	6956.869357	2.72E-08
Soil	(unspecified)	Thidiazuron	051707-55-2	374.9380809	1177.473063
Air	(unspecified)	Thifensulfuron-methyl	079277-27-3	13096.22553	5570.770845
Water	(unspecified)	Thifensulfuron-methyl	079277-27-3	333484.7014	1.67E-09
Soil	(unspecified)	Thifensulfuron-methyl	079277-27-3	87313.23015	60348.77354
Air	(unspecified)	Thiobencarb	028249-77-6	133.038238	4.77501131
Water	(unspecified)	Thiobencarb	028249-77-6	32057.20201	0.003061944
Soil	(unspecified)	Thiobencarb	028249-77-6	87.99560613	112.3155798
Air	(unspecified)	Thiodicarb	059669-26-0	2011.332152	377.4690753
Water	(unspecified)	Thiodicarb	059669-26-0	348942.2439	2.567782175
Soil	(unspecified)	Thiodicarb	059669-26-0	18929.29807	19924.90873
Air	(unspecified)	Thiram	000137-26-8	21651.17238	20540.46824
Water	(unspecified)	Thiram	000137-26-8	623030.1643	0.0000204
Soil	(unspecified)	Thiram	000137-26-8	189649.0219	240072.3293
Air	(unspecified)	Tolclophos-methyl	057018-04-9	100.836312	0.421417533
Water	(unspecified)	Tolclophos-methyl	057018-04-9	56879.90305	0.003931353
Soil	(unspecified)	Tolclophos-methyl	057018-04-9	131.6594955	24.63539276
Air	(unspecified)	Toluene	000108-88-3	0.053718945	0.004158046
Water	(unspecified)	Toluene	000108-88-3	2979.304208	0.001404209
Soil	(unspecified)	Toluene	000108-88-3	6.190161795	59.09699371
Air	(unspecified)	Toluene, chloro-	025168-05-2	92.77219872	4.310413842
Water	(unspecified)	Toluene, chloro-	025168-05-2	120245.8426	0.231483308

Compartment	Sous-compartment	Substance	CAS number	Ecotoxicité aquatique kg TEG water eq / kg	Ecotoxicité terrestre kg TEG soil eq / kg
Soil	(unspecified)	Toluene, chloro-	025168-05-2	396.2368213	1301.31031
Air	(unspecified)	Toxaphene	008001-35-2	814224.1566	411.8426486
Water	(unspecified)	Toxaphene	008001-35-2	83921684.15	175.619707
Soil	(unspecified)	Toxaphene	008001-35-2	1188660.024	7937.227513
Air	(unspecified)	Tralomethrin	066841-25-6	24858.53703	1.459148705
Water	(unspecified)	Tralomethrin	066841-25-6	2493621.941	0.000000119
Soil	(unspecified)	Tralomethrin	066841-25-6	185.4231606	25.83348376
Air	(unspecified)	Triadimefon	043121-43-3	166.3594863	17.17548696
Water	(unspecified)	Triadimefon	043121-43-3	15141.14833	0.0000112
Soil	(unspecified)	Triadimefon	043121-43-3	439.1157759	309.4855467
Air	(unspecified)	Triadimenol	055219-65-3	89.76524758	7.044306156
Water	(unspecified)	Triadimenol	055219-65-3	11146.82562	7.25E-08
Soil	(unspecified)	Triadimenol	055219-65-3	246.2850397	171.2732395
Air	(unspecified)	Triallate	002303-17-5	2903.144014	0.745979721
Water	(unspecified)	Triallate	002303-17-5	589637.7237	0.224018447
Soil	(unspecified)	Triallate	002303-17-5	2270.174101	14.85316305
Air	(unspecified)	Triasulfuron	082097-50-5	870.0056182	744.8690556
Water	(unspecified)	Triasulfuron	082097-50-5	29032.86032	7.6E-09
Soil	(unspecified)	Triasulfuron	082097-50-5	7623.701466	10596.00568
Air	(unspecified)	Tribufos	000078-48-8	19562.60091	0.041365538
Water	(unspecified)	Tribufos	000078-48-8	6411453.722	0.000965573
Soil	(unspecified)	Tribufos	000078-48-8	587.8765194	2.021793275
Air	(unspecified)	Tributylchlorostannane	001461-22-9	3.524717884	0.08036108
Water	(unspecified)	Tributylchlorostannane	001461-22-9	5338236.013	0.004607337
Soil	(unspecified)	Tributylchlorostannane	001461-22-9	76.5751346	217.3208328
Air	(unspecified)	Tributylstannane	000688-73-3	0.109683491	0.001220282
Water	(unspecified)	Tributylstannane	000688-73-3	424510.1823	0.00000439
Soil	(unspecified)	Tributylstannane	000688-73-3	1.65522267	0.756382931
Air	(unspecified)	Tributyltin fluoride	001983-10-4	0.597057178	0.068684195
Water	(unspecified)	Tributyltin fluoride	001983-10-4	9771029.132	0.004082807
Soil	(unspecified)	Tributyltin fluoride	001983-10-4	84.8805694	905.3592161
Air	(unspecified)	Tributyltin methacrylate	002155-70-6	0.948955998	0.034167508
Water	(unspecified)	Tributyltin methacrylate	002155-70-6	1308587.985	0.001940936
Soil	(unspecified)	Tributyltin methacrylate	002155-70-6	50.52023828	214.274881
Air	(unspecified)	Trichlorfon	000052-68-6	3356.542973	8309.500343
Water	(unspecified)	Trichlorfon	000052-68-6	145459.9525	0.001084329
Soil	(unspecified)	Trichlorfon	000052-68-6	42605.09557	147194.9759
Air	(unspecified)	Triclopyr triethylammonium salt	057213-69-1	0.002520686	0.004261906
Water	(unspecified)	Triclopyr triethylammonium salt	057213-69-1	0.334452743	7.92E-17
Soil	(unspecified)	Triclopyr triethylammonium salt	057213-69-1	0.0000338	0.09923285
Air	(unspecified)	Triclopyr, butoxyethyl-	064700-56-7	5.100027676	0.047844571
Water	(unspecified)	Triclopyr, butoxyethyl-	064700-56-7	777.0152844	0.000000136
Soil	(unspecified)	Triclopyr, butoxyethyl-	064700-56-7	0.049121741	0.951920651
Air	(unspecified)	Tridemorph	081412-43-3	2.23121343	0.459650451
Water	(unspecified)	Tridemorph	081412-43-3	2846.377479	0.000116919
Soil	(unspecified)	Tridemorph	081412-43-3	5.582110813	59.8064645
Air	(unspecified)	Triethylene glycol	000112-27-6	0.01116764	0.050659227
Water	(unspecified)	Triethylene glycol	000112-27-6	1	3.85E-08
Soil	(unspecified)	Triethylene glycol	000112-27-6	0.119095755	1
Air	(unspecified)	Trifluralin	001582-09-8	2203.797523	0.742340677
Water	(unspecified)	Trifluralin	001582-09-8	830744.1185	0.303629113
Soil	(unspecified)	Trifluralin	001582-09-8	1904.570487	20.39199825
Air	(unspecified)	Triflusaluron-methyl	126535-15-7	986.1765339	7.939108935
Water	(unspecified)	Triflusaluron-methyl	126535-15-7	61484.03534	6.68E-10
Soil	(unspecified)	Triflusaluron-methyl	126535-15-7	135.9804098	89.91587486
Air	(unspecified)	Trinexapac-ethyl	095266-40-3	18.70576028	15.86577381
Water	(unspecified)	Trinexapac-ethyl	095266-40-3	3044.904505	0.000276052
Soil	(unspecified)	Trinexapac-ethyl	095266-40-3	346.0625113	588.2688619
Air	(unspecified)	Vernolate	001929-77-7	16.90686757	0.048925341
Water	(unspecified)	Vernolate	001929-77-7	13956.81186	0.001796911
Soil	(unspecified)	Vernolate	001929-77-7	15.65474225	5.677157776
Air	(unspecified)	Vinclazolin	050471-44-8	308.4665441	20.9934402
Water	(unspecified)	Vinclazolin	050471-44-8	49630.88511	0.002268161
Soil	(unspecified)	Vinclazolin	050471-44-8	687.8207402	460.7757257
Air	(unspecified)	Xylene	001330-20-7	0.061573983	0.001548569
Water	(unspecified)	Xylene	001330-20-7	2780.179804	0.00042255
Soil	(unspecified)	Xylene	001330-20-7	1.5512621	4.825332761
Air	(unspecified)	Zinc	007440-66-6	203984.7925	1011659.12
Water	(unspecified)	Zinc	007440-66-6	1402499.824	0
Soil	(unspecified)	Zinc	007440-66-6	1395893.943	5912455.497
Air	(unspecified)	Zinc omadine	013463-41-7	60095.77636	276217.5528
Water	(unspecified)	Zinc omadine	013463-41-7	3090346.198	0.226380597
Soil	(unspecified)	Zinc omadine	013463-41-7	361062.0839	3035923.642
Water	(unspecified)	Zinc, ion	023713-49-7	1402499.824	0
Air	(unspecified)	Ziram	000137-30-4	3228.683879	2688.423777
Water	(unspecified)	Ziram	000137-30-4	510264.5715	0.0000215
Soil	(unspecified)	Ziram	000137-30-4	130727.4665	158202.8768

5.2. Occupation du sol

Substance de référence : m₂org.arable

Compartment	Sous-compartment	Substance	CAS number	m ₂ org.arable / m ² a
Raw	(unspecified)	Land use II-III		0.467889908
Raw	(unspecified)	Land use II-IV		0.880733945
Raw	(unspecified)	Land use III-IV		0.880733945
Raw	(unspecified)	Land use IV-IV		1.055045872
Raw	(unspecified)	Occupation, arable		1.055045872
Raw	(unspecified)	Occupation, arable, integrated		1.055045872
Raw	(unspecified)	Occupation, arable, non-irrigated		1.055045872
Raw	(unspecified)	Occupation, arable, non-irrigated, diverse-intensive		1.055045872
Raw	(unspecified)	Occupation, arable, organic		1
Raw	(unspecified)	Occupation, forest		0.100917431
Raw	(unspecified)	Occupation, forest, intensive		0.100917431
Raw	(unspecified)	Occupation, forest, intensive, normal		0.100917431
Raw	(unspecified)	Occupation, industrial area		0.770642202
Raw	(unspecified)	Occupation, industrial area, benthos		0.770642202
Raw	(unspecified)	Occupation, industrial area, built up		0.770642202
Raw	(unspecified)	Occupation, industrial area, vegetation		0.770642202
Raw	(unspecified)	Occupation, pasture and meadow, extensive		0.935779817
Raw	(unspecified)	Occupation, pasture and meadow, intensive		1.036697248
Raw	(unspecified)	Occupation, pasture and meadow, organic		0.935779817
Raw	(unspecified)	Occupation, permanent crop, fruit, intensive		1.055045872
Raw	(unspecified)	Occupation, traffic area		0.770642202
Raw	(unspecified)	Occupation, traffic area, rail embankment		0.770642202
Raw	(unspecified)	Occupation, traffic area, rail network		0.770642202
Raw	(unspecified)	Occupation, traffic area, road embankment		0.770642202
Raw	(unspecified)	Occupation, traffic area, road network		0.770642202
Raw	(unspecified)	Occupation, urban, continuously built		1.055045872
Raw	(unspecified)	Occupation, urban, discontinuously built		0.880733945
Raw	(unspecified)	Occupation, urban, green areas		0.770642202

5.3. Potentiel de réchauffement climatique

Substance de référence : CO₂

Compartment	Sous-compartment	Substance	CAS number	kg CO ₂ eq / kg
Air	(unspecified)	1-Propanol, 3,3,3-trifluoro-2,2-bis(trifluoromethyl)-, HFE-7100	014117-17-0	120
Air	(unspecified)	Butane, 1,1,1,3,3-pentafluoro-, HFC-365mfc	000406-58-6	280
Air	(unspecified)	Butane, perfluoro-	000355-25-9	12400
Air	(unspecified)	Butane, perfluorocyclo-, PFC-318	000115-25-3	14500
Air	(unspecified)	Carbon dioxide	000124-38-9	1
Air	(unspecified)	Carbon dioxide, biogenic	000124-38-9	1
Air	(unspecified)	Carbon dioxide, fossil	000124-38-9	1
Raw	(unspecified)	Carbon dioxide, in air	000124-38-9	-1
Air	(unspecified)	Carbon dioxide, land transformation	000124-38-9	1
Air	(unspecified)	Carbon monoxide	000630-08-0	1.57
Air	(unspecified)	Carbon monoxide, biogenic	000630-08-0	1.57
Air	(unspecified)	Carbon monoxide, fossil	000630-08-0	1.57
Air	(unspecified)	Chloroform	000067-66-3	9
Air	(unspecified)	Dimethyl ether	000115-10-6	1
Air	(unspecified)	Dinitrogen monoxide	010024-97-2	156
Air	(unspecified)	Ethane, 1-chloro-1,1-difluoro-, HCFC-142b	000075-68-3	740
Air	(unspecified)	Ethane, 1,1-dichloro-2,2,2-trifluoro-(difluoromethoxy)-, HCFC-235da2	026675-46-7	110
Air	(unspecified)	Ethane, 1,1-dichloro-1-fluoro-, HCFC-141b	001717-00-6	220
Air	(unspecified)	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	000075-37-6	37
Air	(unspecified)	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	000071-55-6	42
Air	(unspecified)	Ethane, 1,1,1-trifluoro-, HFC-143a	000420-46-2	1600
Air	(unspecified)	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	000811-97-2	400
Air	(unspecified)	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	000076-13-1	2700
Air	(unspecified)	Ethane, 1,1,2-trifluoro-, HFC-143	000430-66-0	100
Air	(unspecified)	Ethane, 1,1,2,2-tetrafluoro-, HFC-134	000359-35-3	330
Air	(unspecified)	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	000076-14-2	8700
Air	(unspecified)	Ethane, 1,2-difluoro-, HFC-152	000624-72-6	13
Air	(unspecified)	Ethane, 2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoro-, HCFC-124	002837-89-0	190
Air	(unspecified)	Ethane, 2,2-dichloro-1,1,1-trifluoro-, HCFC-123	000306-83-2	36
Air	(unspecified)	Ethane, chloropentafluoro-, CFC-115	000076-15-3	9900
Air	(unspecified)	Ethane, fluoro-, HFC-161	000353-36-6	4
Air	(unspecified)	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	000076-16-4	18000
Air	(unspecified)	Ethane, pentafluoro-, HFC-125	000354-33-6	1100
Air	(unspecified)	Ethanol, 2,2-trifluoro-	000075-89-8	18
Air	(unspecified)	Ether, 1,1,1-trifluoromethyl methyl-, HFE-143a	000421-14-7	230
Air	(unspecified)	Ether, 1,1,2,2-Tetrafluoroethyl 2,2,2-trifluoroethyl-, HFE-347mcf2	000406-78-0	150
Air	(unspecified)	Ether, 1,1,2,2-Tetrafluoroethyl methyl-, HFE-254cb2	000425-88-7	9
Air	(unspecified)	Ether, 1,1,2,3,3,3-Hexafluoropropyl methyl-, HFE-356pcf3	000382-34-3	130
Air	(unspecified)	Ether, di(difluoromethyl), HFE-134	001691-17-4	2000
Air	(unspecified)	Ether, difluoromethyl 2,2,2-trifluoroethyl-, HFE-245cb2	001885-48-9	180
Air	(unspecified)	Ether, difluoromethyl 2,2,2-trifluoroethyl-, HFE-245fa2	001885-48-9	180
Air	(unspecified)	Ether, ethyl 1,1,2,2-tetrafluoroethyl-, HFE-374pc2	000512-51-6	170
Air	(unspecified)	Ether, nonafluorobutane ethyl-, HFE569sf2 (HFE-7200)		17

Air	(unspecified)	Ether, pentafluoromethyl-, HFE-125	003822-68-2	9200
Air	(unspecified)	Hexane, perfluoro-	000355-42-0	13200
Air	(unspecified)	HFE-236ca12 (HG-10)		850
Air	(unspecified)	HFE-338pcc13 (HG-01)		450
Air	(unspecified)	HFE-43-10pccc124 (H-Galden1040x)		560
Air	(unspecified)	Methane	000074-82-8	7
Air	(unspecified)	Methane, biogenic	000074-82-8	4.25
Air	(unspecified)	Methane, bromo-, Halon 1001	000074-83-9	1
Air	(unspecified)	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	000353-59-3	390
Air	(unspecified)	Methane, bromodifluoro-, Halon 1201	001511-62-2	150
Air	(unspecified)	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	000075-63-8	2700
Air	(unspecified)	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	000075-45-6	540
Air	(unspecified)	Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	000075-72-9	16300
Air	(unspecified)	Methane, dibromo-	000074-95-3	1
Air	(unspecified)	Methane, dichloro-, HCC-30	000075-09-2	3
Air	(unspecified)	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	000075-71-8	5200
Air	(unspecified)	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	000075-43-4	65
Air	(unspecified)	Methane, difluoro-, HFC-32	000075-10-5	170
Air	(unspecified)	Methane, fluoro-, HFC-41	000593-53-3	30
Air	(unspecified)	Methane, fossil	000074-82-8	7
Air	(unspecified)	Methane, iodotrifluoro-	002314-97-8	1
Air	(unspecified)	Methane, monochloro-, R-40	000074-87-3	5
Air	(unspecified)	Methane, tetrachloro-, CFC-10	000056-23-5	580
Air	(unspecified)	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	000075-73-0	8900
Air	(unspecified)	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	000075-69-4	1600
Air	(unspecified)	Methane, trifluoro-, HFC-23	000075-46-7	10000
Air	(unspecified)	Pentane, 2,3-dihydroperfluoro-, HFC-4310mee	138495-42-8	470
Air	(unspecified)	Pentane, perfluoro-	000678-26-2	13200
Air	(unspecified)	Propane, 1,1,1,2,2,3-hexafluoro-, HFC-236cb	000677-56-5	390
Air	(unspecified)	Propane, 1,1,1,2,3,3-hexafluoro-, HFC-236ea	000431-63-0	390
Air	(unspecified)	Propane, 1,1,1,2,3,3,3-heptafluoro-, HFC-227ea	000431-89-0	1100
Air	(unspecified)	Propane, 1,1,1,3,3-pentafluoro-, HFC-227fa	000460-73-1	300
Air	(unspecified)	Propane, 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-, HCFC-236fa	000690-39-1	7100
Air	(unspecified)	Propane, 1,1,2,2,3-pentafluoro-, HFC-245ca	000679-86-7	200
Air	(unspecified)	Propane, 1,3-dichloro-1,1,2,2,3-pentafluoro-, HCFC-225cb	000507-55-1	190
Air	(unspecified)	Propane, 3,3-dichloro-1,1,1,2,2-pentafluoro-, HCFC-225ca	000422-56-0	55
Air	(unspecified)	Propane, perfluoro-	000076-19-7	12400
Air	(unspecified)	Propanol, 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-2-	000920-66-1	59
Air	(unspecified)	Propanol, pentafluoro-1-	000422-05-9	13
Air	(unspecified)	Sevoflurane	028523-86-6	100
Air	(unspecified)	Sulfur hexafluoride	002551-62-4	32400

5.4. Consommation d'énergie non-renouvelable.

Substance de référence : MJ primaire

Compartment	Sous-compartment	Substance	CAS number	MJ primaire / kg
Raw	(unspecified)	Coal, 18 MJ per kg, in ground		18
Raw	(unspecified)	Coal, 26.4 MJ per kg, in ground		26.4
Raw	(unspecified)	Coal, 29.3 MJ per kg, in ground		29.3
Raw	(unspecified)	Coal, brown (lignite)		9.9
Raw	(unspecified)	Coal, brown, 10 MJ per kg, in ground		10
Raw	(unspecified)	Coal, brown, 8 MJ per kg, in ground		8
Raw	(unspecified)	Coal, brown, in ground		9.9
Raw	(unspecified)	Coal, feedstock, 26.4 MJ per kg, in ground		26.4
Raw	(unspecified)	Coal, hard, unspecified, in ground		19.1
Raw	(unspecified)	Energy, from coal		1
Raw	(unspecified)	Energy, from coal, brown		1
Raw	(unspecified)	Energy, from gas, natural		1
Raw	(unspecified)	Energy, from oil		1
Raw	(unspecified)	Energy, from uranium		1
Raw	(unspecified)	Energy, unspecified		1
Raw	(unspecified)	Gas, natural (0,8 kg/m3)	008006-14-2	40.3
Raw	(unspecified)	Gas, natural, 30.3 MJ per kg, in ground	008006-14-2	30.3
Raw	(unspecified)	Gas, natural, 35 MJ per m3, in ground	008006-14-2	35
Raw	(unspecified)	Gas, natural, 36.6 MJ per m3, in ground	008006-14-2	36.6
Raw	(unspecified)	Gas, natural, 46.8 MJ per kg, in ground	008006-14-2	46.8
Raw	(unspecified)	Gas, natural, feedstock, 35 MJ per m3, in ground	008006-14-2	35
Raw	(unspecified)	Gas, natural, feedstock, 46.8 MJ per kg, in ground	008006-14-2	46.8
Raw	(unspecified)	Gas, natural, in ground	008006-14-2	40.3
Raw	(unspecified)	Gas, petroleum, 35 MJ per m3, in ground		35
Raw	(unspecified)	Methane	000074-82-8	50.4
Raw	(unspecified)	Oil, crude, 38400 MJ per m3, in ground		38400
Raw	(unspecified)	Oil, crude, 41 MJ per kg, in ground		41
Raw	(unspecified)	Oil, crude, 42 MJ per kg, in ground		42
Raw	(unspecified)	Oil, crude, 42.6 MJ per kg, in ground		42.6
Raw	(unspecified)	Oil, crude, 42.7 MJ per kg, in ground		42.7
Raw	(unspecified)	Oil, crude, feedstock, 41 MJ per kg, in ground		41
Raw	(unspecified)	Oil, crude, feedstock, 42 MJ per kg, in ground		42
Raw	(unspecified)	Oil, crude, in ground		45.8
Raw	(unspecified)	Peat, in ground		9.9
Raw	(unspecified)	Uranium ore, 1.11 GJ per kg, in ground		1110
Raw	(unspecified)	Uranium, 2291 GJ per kg, in ground	007440-61-1	2290000
Raw	(unspecified)	Uranium, 451 GJ per kg, in ground	007440-61-1	451000

Raw	(unspecified)	Uranium, 560 GJ per kg, in ground	007440-61-1	560000
Raw	(unspecified)	Uranium, in ground	007440-61-1	560000
Raw	(unspecified)	Wood (16.9 MJ/kg)		0
Raw	(unspecified)	Wood, hard, standing		0
Raw	(unspecified)	Wood, soft, standing		0
Raw	(unspecified)	Wood, unspecified, standing/m3		0

5.5. Dommages et normalisation

Santé humaine		DALY	
Cancérogènes	0.0000028	DALY / kg C2H3Cl eq	
Non-cancérogènes	0.0000028	DALY / kg C2H3Cl eq	
Effets respiratoires inorganiques	0.0007	DALY / kg PM2.5 eq	
Radiation ionisante	2.1E-10	DALY / Bq C-14 eq	
Dépiction de la couche d'ozone	0.00105	DALY / kg CFC-11 eq	
Effets respiratoires organiques	0.00000213	DALY / kg C2H4 eq	

Qualité des écosystèmes		PDF*m2*yr	
Ecotoxicité aquatique	0.0000502	PDF*m2*yr / kg TEG water	
Ecotoxicité terrestre	0.00791	PDF*m2*yr / kg TEG soil	
Acidification terrestre	1.04	PDF*m2*yr / kg SO2 eq	
Occupation du sol	1.09	PDF*m2*yr / m2org.arable	

Changement climatique		kg CO2 eq	
Potentiel de réchauffement climatique	1	kg CO2 eq / kg CO2 eq	

Epuisement des ressources		MJ primary	
Energie non renouvelable	1	MJ primary / MJ primary	
Extraction minière	1	MJ primary / MJ surplus	

Normalisation		
Santé humaine		141
Qualité des écosystèmes		0.000073
Changements climatiques		0.000101
Epuisement des ressources		0.00000658

Annexe 6 : Les principes de Bellagio

Cette annexe décrit le cadre dans lequel les principes de Bellagio ont été établis. Il liste également les principes tels que décrits par l'IISD, l'Institut international pour le développement durable [IISD.org 2010].

A6.1 Introduction

En 1987, la Commission mondiale de l'environnement et du développement (la Commission Brundtland) exprimait le souhait que soient adoptées de nouvelles méthodes de mesure et d'évaluation des progrès en faveur du développement durable. Ce vœu a été formulé à nouveau dans le cadre d'Action 21, le plan adopté au Sommet de la Terre de 1992, et d'autres rencontres tant locales qu'internationales. Des efforts considérables ont donc été consentis en ce sens par de grandes sociétés, des organisations non gouvernementales, des universitaires, des collectivités, des pays et des organisations internationales.

A6.2 Qui a élaboré les principes?

En novembre 1996, un groupe international de spécialistes de l'évaluation et de chercheurs des cinq continents s'est réuni au Centre d'études et de conférences de la Fondation Rockefeller à Bellagio, en Italie, pour faire le point sur le chemin parcouru et la synthèse des leçons à tirer des examens pratiques en cours. C'est ainsi qu'ont été établis et adoptés à l'unanimité les principes énoncés ci-après.

A6.3 Liste des participants

- Alan AtKisson, Redefining Progress, États-Unis
- Joe Baker, Commissioner for the Environment, Australie
- Jan Bakkes, RIVM, Pays-Bas
- Chaouki Benazzou, Ministère de la planification, Maroc
- David Berry, La Maison Blanche, États-Unis
- Maria Buitenkamp, Amis de la terre, Pays-Bas
- Candido Cabrido, Ministère de l'environnement et des ressources naturelles, Philippines
- Walter Corson, George Washington University, États-Unis
- Arthur Dahl, Division de l'information et de l'évaluation de l'environnement, PNUE
- Gilberto Gallopín, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Colombie
- Allen Hammond, World Resources Institute, États-Unis
- Peter Hardi, Institut international du développement durable, Canada
- Tony Hodge, Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie, Canada
- Devaki Jain, National Commission for Women, Inde
- Jochen Jesinghaus, Office statistique des Communautés européennes, Luxembourg
- Anne Kerr, Bureau de l'évaluation et des indicateurs, Environnement Canada
- Tord Kjellström, Bureau de l'hygiène du milieu intégrée et mondiale, OMS

- William M. Lafferty, Program for Research and Documentation for a Sustainable Society, Norvège
- Bedrich Moldan, Université Charles, République Tchèque
- Sabine Müller, Université Kiel, Allemagne
- Michael Narodoslawsky, Graz Institute of Technology, Autriche
- Laszlo Pinter, Institut international du développement durable, Canada
- Robert Prescott-Allen, Centre de recherche pour le développement international/Union mondiale pour la nature
- Gül Tanghe-Güllüova, Bureau du Rapport mondial sur le développement humain, PNUD

A6.4 À quoi et à qui servent-ils?

Ces principes constituent des lignes directrices à suivre à toutes les étapes du processus d'évaluation depuis la sélection, la conception et l'interprétation des indicateurs jusqu'à la communication du résultat. Parce qu'ils forment un ensemble dont les éléments sont interreliés, il convient de les appliquer tous. Ces principes visent à faciliter la réalisation et l'amélioration des activités d'évaluation des groupes locaux, organisations non gouvernementales, grandes sociétés, gouvernements nationaux et institutions internationales.

A6.5 Aperçu des principes

Ces principes traitent de quatre aspects de l'évaluation des progrès en faveur du développement durable. Le premier principe porte sur le point de départ de toute évaluation, c'est-à-dire sur l'établissement d'une vision du développement durable et sur la formulation d'objectifs clairs fournissant une définition concrète de cette vision en des termes utiles pour les décideurs. Les principes 2 à 5 portent sur le contenu de toute évaluation et sur la nécessité de conjuguer la perception du système dans son ensemble et l'examen pratique des problèmes prioritaires de l'heure. Les principes 6 à 8 traitent d'objectifs clés de l'évaluation, les principes 9 et 10 portant plutôt sur le besoin de prévoir des capacités d'évaluation permanentes.

1. **Vision et objectifs**

Une vision claire du développement durable et des objectifs définissant cette vision doivent guider l'évaluation des progrès vers le développement durable

2. **Perspective globale**

L'évaluation des progrès vers le développement durable doit :

- comporter un examen du système dans son ensemble et de ses éléments constitutifs
- porter sur la situation des sous-systèmes sociaux, environnementaux et économiques, leur état ainsi que la direction et le rythme de l'éventuelle modification de cet état, de même que de leurs composantes, et sur l'interaction entre ces composantes

- examiner les conséquences tant positives que négatives de l'activité humaine d'une manière propre à en déterminer les inconvénients et les avantages pour les systèmes humains et environnementaux en termes monétaires et non monétaires

3. **Éléments fondamentaux**

L'évaluation des progrès vers le développement durable doit :

- prendre en considération l'équité et la disparité au sein de la population actuelle et entre les générations actuelles et futures, au regard de préoccupations telles que l'utilisation des ressources, la surconsommation et la pauvreté, les droits de la personne et l'accès aux services, selon les circonstances
- se pencher sur les conditions écologiques indispensables à la vie
- porter sur le développement économique et les autres activités non rémunérées qui contribuent au bien-être humain/social

4. **Portée adéquate**

L'évaluation du progrès vers le développement durable doit :

- couvrir un horizon temporel assez étendu pour que s'y insèrent les échelles de temps propres aux humains et aux écosystèmes, de façon à répondre aux besoins des générations actuelles et futures tout en permettant la prise de décisions à court terme
- définir un champ d'étude assez vaste pour que soient prises en considération les répercussions tant locales qu'éloignées des interventions sur les personnes et les écosystèmes
- tirer avantage des conditions historiques et actuelles pour prévoir l'avenir — où nous voulons aller, où nous pourrions aller

5. **Centres d'intérêts pratiques**

L'évaluation des progrès en faveur du développement durable doit se fonder sur :

- un ensemble explicite de catégories ou un cadre structurel comportant des liens entre, d'une part, la vision et les objectifs et, d'autre part, des indicateurs et des critères d'évaluation
- un nombre limité de points clés à analyser
- un nombre limité d'indicateurs ou de jeux d'indicateurs afin que les progrès apparaissent clairement
- la normalisation des mesures chaque fois que les circonstances le permettent afin de rendre les comparaisons possibles
- la comparaison des valeurs des indicateurs avec les objectifs, les valeurs de référence, les champs, les seuils ou l'orientation des tendances, selon les besoins

6. **Ouverture**

L'évaluation des progrès vers le développement durable doit :

- rendre les méthodes et les données utilisées accessibles à tous

- rendre explicites tous les jugements, hypothèses et incertitudes dans les données et les interprétations

7. **Communication effective**

L'évaluation des progrès vers le développement durable doit:

- être conçue de façon à répondre aux besoins de la clientèle et des utilisateurs
- mettre à profit des indicateurs et d'autres outils stimulants propres à retenir l'attention des décideurs
- privilégier dès le début la simplicité des structures et le recours à un langage clair et simple

8. **Vaste participation**

L'évaluation des progrès en faveur du développement durable doit:

- encourager la participation générale de groupes populaires, professionnels, techniques et sociaux clés, notamment des jeunes, des femmes et des peuples autochtones, afin d'assurer la reconnaissance de valeurs différentes et en évolution
- garantir la participation de décideurs de façon à assurer une prise directe avec les politiques adoptées et les interventions en découlant

9. **Constante évaluation**

L'évaluation des progrès vers le développement durable doit:

- permettre le développement de capacités d'évaluation permanente aux fins de l'établissement des tendances
- être itérative, souple et adaptable au changement et à l'incertitude compte tenu de la complexité des systèmes et des fréquentes modifications qui leur sont apportées
- permettre l'ajustement des buts, cadres et indicateurs en fonction des idées nouvelles
- favoriser l'apprentissage collectif et la rétroaction à la prise de décision

10. **Capacité institutionnelle**

Pour garantir la permanence de l'évaluation des progrès vers le développement durable, il convient :

- de répartir clairement les responsabilités et de fournir un soutien constant aux responsables du processus décisionnel
- de fournir la capacité institutionnelle indispensable à la collecte des données, à leur gestion et à la documentation
- d'appuyer le développement d'une capacité d'évaluation locale

Annexe 7 : Critères RSB

Les douze principes de durabilité de la table ronde des biocarburants durables sont donnés ici. Pour plus de détail sur les critères précisant ces principes, se référer à [RSB 2009].

Principe 1 Légalité

Les opérations liées à la production de biocarburants doivent obéir à toutes les lois et réglementations applicables.

Principe 2 Planning, suivi & amélioration continue

Les opérations liées à la production de biocarburants doivent être planifiées, contrôlées et continuellement améliorées au travers d'une Étude d'Impact Environnemental et Social (EIES ou ESIA en anglais) ouverte, transparente et consultative ainsi que d'une analyse de viabilité économique.

Principe 3 Gaz à effet de serre (GES)

Les biocarburants doivent contribuer à limiter le changement climatique en réduisant de manière significative les émissions des gaz à effet de serre sur l'ensemble de leur cycle de vie en comparaison des carburants fossiles.

Principe 4 Droits de l'homme & du travail

Les opérations liées à la production de biocarburants ne doivent pas violer les droits de l'homme ni les droits du travail, et doivent promouvoir le travail décent et le bien-être des travailleurs.

Principe 5 Développement rural & social

Dans les régions pauvres, les opérations liées à la production de biocarburants doivent contribuer au développement économique et social des populations locales, rurales et autochtones.

Principe 6 Sécurité alimentaire locale

Les opérations liées à la production de biocarburants doivent garantir le droit à une alimentation adaptée et améliorer la sécurité alimentaire dans les régions d'insécurité alimentaire.

Principe 7 Conservation

Les opérations liées à la production de biocarburants doivent éviter les impacts négatifs sur la biodiversité, les écosystèmes et les autres valeurs de conservation.

Principe 8 Sol

Les opérations liées à la production de biocarburants doivent mettre en œuvre des pratiques visant à inverser le processus de dégradation des sols et/ou à préserver la santé des sols.

Principe 9 Eau

Les opérations liées à la production de biocarburants doivent préserver ou améliorer la qualité et la quantité des ressources en eau de surface et souterraine et respecter les droits antérieurs d'utilisation de l'eau, qu'ils soient formels ou coutumiers.

Principe 10 Air

La pollution atmosphérique issue des opérations liées à la production de biocarburants doit être réduite au minimum tout au long de la chaîne d'approvisionnement.

Principe 11 Usage de la technologie, intrants & gestion des déchets

L'usage de technologie dans les opérations liées à la production de biocarburants doit chercher à maximiser le rendement de la production ainsi que les performances sociales et environnementales, et minimiser les risques de préjudices à l'environnement et aux populations.

Principe 12 Droits fonciers

Les opérations liées à la production de biocarburants doivent respecter les droits fonciers et les droits d'utilisation du sol.

Bibliographie des annexes

- Bringezu, S. (2003). *Industrial ecology and material flow analysis : basis concepts, policy relevance and some case studies*. In Perspectives on industrial ecology. Bourg, D. and Erkman, S. Sheffield, Greenleaf Publishing Limited: 20-34.
- Brunner, P. H. (2002). "Beyond Material Flow Analysis." Journal of Industrial Ecology **6**(1): p.8-10
- Daniels, P. L. (2002). "Approaches for Quantifying the Metabolism of Physical Economies: A Comparative Survey. Part II: Review of Individual Approaches." Journal of Industrial Ecology **6**(1): p.65-88
- Daniels, P. L. and Moore, S. (2001). "Approaches for Quantifying the Metabolism of Physical Economies. Part I: Methodological Overview." Journal of Industrial Ecology **5**(4): p.69-93
- Hinterberger, F., Giljum, S. and Hammer, M. (2003). *Material Flow Accounting and Analysis (MFA) : A valuable tool for analyses of Society-Nature interrelationships*. In Online Encyclopaedia of Ecological Economics. Neumayer, E. London, International Society for Ecological Economics: 12.
- IISD.org. (2010). "Les principes de Bellagio au complet." Retrieved 14.05.2010, from http://www.iisd.org/measure/principles/progress/bellagio_full_fr.asp.
- ISO (2006a). *Norme ISO 14040 : 2006 (F), Management environnemental - analyse du cycle de vie - principes et cadre*. Genève, Organisation Internationale de Normalisation: 23
- ISO (2006b). *Norme ISO 14044 : 2006 (F), Management environnemental - analyse du cycle de vie - Exigences et lignes directrices*. Genève, Organisation Internationale de Normalisation: 49
- Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G. and Rosenbaum, R. (2003). "IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology." International Journal of LCA **8**(6): p.324-330. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02978505>
- Jolliet, O., Saadé, M. and Crettaz, P. (2005). Analyse de cycle de vie comprendre et réaliser un écobilan. 242 p.p Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes.
- RSB (2009). Principes et critères RSB pour la production durable de biocarburants. Roundtable on Sustainable Biofuels. Lausanne, EPFL: 34

Curriculum Vitae
et liste de publications



Résumé

- Ingénieure en Science des Matériaux de l'EPFL
- Experte et formatrice en Analyse du Cycle de Vie (éco-bilan) et en développement durable
- Spécialiste en développement et coopération
- Parle Français, Anglais et Allemand
- Contact : Pascale Schwab Castella, ch. des Fleurettes 26, 1007 Lausanne.
Tel: +41 76 442 66 45, email: pascale@olympo.ch

FORMATION

2005-2011	Doctorat en Géosciences et Environnement	UNIL, Lausanne, Suisse
1997-2002	Diplôme d'ingénieure en Science des Matériaux	EPFL, Lausanne
1993-1996	Maturité fédérale de type C (scientifique)	Gymnase Cantonal de Neuchâtel

FORMATION COMPLEMENTAIRE

2011	Bilan Carbone® Module 1 et Module 2	ADEME, Paris, France
2002-2003	Certificat postgrade en Développement (6 mois)	EIER, Ouagadougou, Burkina Faso

ACTIVITE ACTUELLE

- Depuis 01.2010 **Cheffe de projet**
Unité de Développement Durable, Département des Infrastructures, Etat de Vaud
- Réalisation d'un bilan CO₂ de l'Administration Cantonale Vaudoise.
 - Mise en place d'une plateforme CO₂ avec plusieurs partenaires (UNIL, EPFL, CHUV).
 - Réalisation d'un bilan développement durable de l'Administration Cantonale à partir du référentiel GRI.
 - Appui au développement durable des Services de l'Administration.

EXPERIENCE PROFESSIONNELLE

- 09.2005 – 08.2011 **Assistante diplômée, doctorante**
UNIL, IPTEH, Ecologie industrielle (Prof. S. Erkman)
- Evaluation du potentiel de développement local et durable lié à la mise en place de symbioses agro-industrielles en Afrique de l'Ouest.
 - Analyse du cycle de vie de biocarburants dont le but est de substituer l'énergie fossile d'une cimenterie au Nigéria et réduire les émissions de CO₂.
 - Développement d'un cadre méthodologique pour l'évaluation de la durabilité de projets dans les pays en développement
 - Enseignement, encadrement d'étudiants et de stagiaires, membre de la Commission d'Enseignement et du Conseil de Faculté.
-
- 03.2004 – 08.2005 **Collaboratrice Scientifique**
GECOS, Life Cycle System Group, EPFL (Prof. O. Jolliet)
- Analyse du cycle de vie et analyse du cycle des coûts pour des pièces en composites pour le transport.
 - Collaboration étroite avec l'industrie (Bekaert SA Belgique, Hankuk fibres Corée du Sud, Korean RailRoad Institute Corée du Sud).
 - Supervision de futurs ingénieurs.

-
- 12.2003 – 03.2004 **Chargée de projet, stagiaire**
Ecoparc, Neuchâtel
- Promotion d'une application pratique du développement durable dans l'environnement construit et au sein des PME.
 - Collecte et synthèse d'informations actuelles et locales sur le développement durable et son application.
-
- 01.2003 – 03.2003 **Collaboratrice projet développement**
Travail final pour le cours postgrade, Tenkodogo, Burkina Faso
- Analyse de l'impact social de l'implantation de forages d'eau dans les villages de l'Est du Burkina Faso. Evaluation de la gestion des forages par la population, établie par la coopération danoise selon des méthodes participatives.
 - Travail interdisciplinaire et interculturel : élaboration et gestion de projets avec un ingénieur en hydraulique béninois et un géologue suisse.
-
- 10.2002 – 03.2003 **Cours de spécialisation postgrade en développement**
EIER, Ouagadougou, Burkina Faso
-
- 04.2002 – 09.2002 **Collaboratrice scientifique**
Laboratoire de Technologie des Composites (LTC), Département des Matériaux, EPFL (Prof. J.-A. Manson)
- Développement d'un oligomère réactif (PA) pour des composites à hautes performances, développement et amélioration de nouvelles méthodes de mise en oeuvre à haute température.
 - Contacts avec l'industrie (EMS Chemie, Suisse).
-
- 08.2001 – 03.2002 **Stage et travail de diplôme en Science des Matériaux**
LTC, EPFL, et The Swedish Pulp and Paper Research Institute, Suède
- Développement de fibres naturelles pour des composites de nouvelle génération.

LANGUES

Français	Langue maternelle.
Anglais	Ecrit et parlé : Bonnes connaissances. Utilisé quotidiennement.
Allemand	Ecrit et parlé : Bonnes connaissances.
Espagnol	Connaissances de base.

INFORMATIQUE

Microsoft Office	Excellentes connaissances
Simapro	Excellentes connaissances (réalisation d'Analyse du Cycle de Vie)
Adobe Photoshop	Bonnes connaissances
Autres	FileMaker, Endnote, Jahia, Lotus

COURS DE FORMATION COMPLEMENTAIRES COURTS (1-3 JOURS)

Formation personnelle	Gestion des conflits, Affirmation de soi, Bilan de compétences, Maîtriser sa fonction et son temps, Skill's profile, Se préparer à une soutenance de thèse, Maternité et/ou carrière, S'exprimer en public, Boussole21.
-----------------------	---

INTERETS

Marche en montagne, pratique de la musique, enfants, relations sociales, organisation de sorties.

INFORMATIONS PERSONNELLES

Suisse, née le 30 juin 1978, mariée, un enfant.

Publications et conférences liées à cette thèse

- Pascale Schwab-Castella, Guillaume Massard, Suren Erkman (2007) *Use of industrial symbiosis concepts as a tool for rural development in West Africa*, Oral presentation and poster at the International Symbiosis and Industrial Ecology Conference, June 17-20, 2007, Toronto, Canada.
- Pascale Schwab-Castella, Suren Erkman (2007) *Agro-industrial symbiosis and population's living condition improvement in North Nigeria*, Oral presentation and proceedings of the 3rd International Conference on Life Cycle Management, LCM2007, from analysis to implementation, August 27-29, 2007, Zürich, Switzerland.
- Pascale Schwab-Castella, Suren Erkman (2007) *Agro-industrial symbiosis and population's living condition improvement in North Nigeria*, Oral presentation and proceedings of the R'07 World Congress, Recovery of Materials and Energy for Resource Efficiency, September 3-5, 2007, Davos, Switzerland.
- Pascale Schwab-Castella, Suren Ekman (2007) *Les symbioses agro-industrielles, un outil de développement en Afrique de l'Ouest?*, Université Européenne d'Eté, "Entreprises, Organisations et Développement durable", 22-29 septembre 2007, Montpellier, France.
- Pascale Schwab-Castella, Tourane Corbière-Nicollier, Suren Erkman (2009), *Life Cycle Assessment of bio-fuels in West Africa: what a challenge!*, Oral presentation and proceedings of the 4th International Conference on Life Cycle Management, LCM2009, September 6-9, 2009, Cape Town, South Africa.
- Pascale Schwab-Castella, Suren Erkman (en cours de révision 2011), *Challenges of using Life Cycle Assessment in West Africa. Evaluation of an agro-industrial symbiosis involving bioenergy in a cement plant*, Journal of Industrial Ecology, 25p.