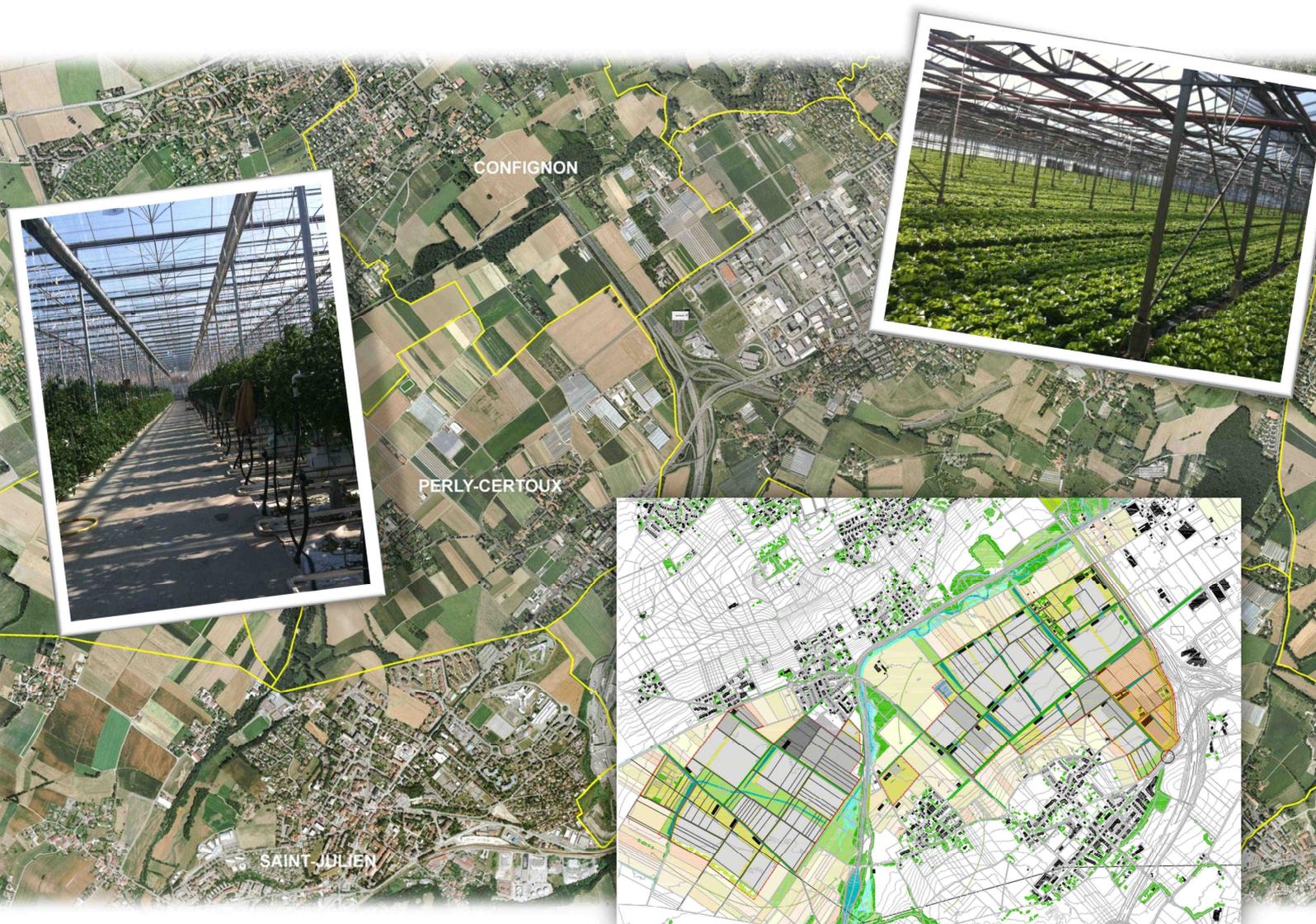


Agriculture urbaine & Gestion énergétique

Alternatives pour la production maraîchère genevoise



Loïc Leray, loic.leray@unil.ch
Adrien Roy, adrien.roy@unil.ch

Travail de recherche dans le cadre du cours :
Politiques territoriales intégrées
Master Géosciences et Environnement
Université de Lausanne, Printemps 2010

Sous la direction de :
Dr. J. Salomon Cavin
Institut de Politiques Territoriales et Environnement Humain
Université de Lausanne

Unil
UNIL | Université de Lausanne
Faculté des géosciences
et de l'environnement

Table des matières

1. Introduction	3
1.1 Le projet d'agglomération	4
1.2 Problématique	5
1.3 Méthodologie	7
2. Contexte du maraîchage genevois	8
2.1 Contexte énergétique de la production maraîchère genevoise	8
2.2 Contexte institutionnel et législatif	9
2.2.1 Les acteurs de la production maraîchère	9
2.2.2 Planification territoriale	10
2.2.3 Planification énergétique	11
2.3 Définition du système et impacts principaux	13
2.3.1 Production maraîchère sous serres hors-sol : une exploitation de référence	13
2.3.1 Impacts énergétiques de la production maraîchère sous serre hors-sol	15
3. Alternatives énergétiques	17
3.1 Aspects technologiques : efficacité des sites de production	17
3.1.1 Efficacité technique des serres et gestion du climat	17
3.1.2 Géothermie, pompes à chaleurs et « serres-capteur d'énergie »	19
3.1.3 La cogénération	23
3.1.4 Synergies et système de chauffage « basse-température »	24
3.2 Aspects spatiaux : Localisation des serres	25
3.2.1 Regroupement des activités de production sous serres	25
3.2.2 Proximité d'autres activités urbaines	26
3.2.3 Densification	28
3.2.4 Proximité des sources énergétiques	30
3.3 Types de productions : cultures adaptées	32
3.4 Leviers institutionnels et économiques incitatifs	34
4. Scénarios envisageables	35
4.1 Scénario « individuel »	35
4.2 Scénario « collectif »	36
4.3 Scénario « intégré »	36
5. Analyse multicritères	37
5.1 Critères d'évaluation	37
5.2 Analyse de dominance	38
5.3 Standardisation	39
5.4 Bilan de l'analyse	39
6. Conclusions	40
6.1 La proximité comme valeur ajoutée	40
6.2 Production locale et développement régional	40
6.3 Et les consommateurs... ?	41
Bibliographie	42

Table des figures

Figure 1 : Schéma directeur et PACA de St-Julien - Plaine de l'Aire de l'AFVG (CRFG 2007 & Salomon 2010).	5
Figure 2 : Système agricole genevois et principaux flux (Faessler&Lachal 2008).	6
Figure 3 : Evolution des cultures sous serres en ha (UMG 2009).	9
Figure 4 : Localisation des zones agricoles spéciale (Etat de Genève 2005).	11
Figure 5 : Affectation territoriale des ressources énergétique en fonction des disponibilités locales (Beck 2010).	12
Figure 6 : Situation de l'exploitation Jaquenoud SA, Lully, Zone Agricole Spéciale (Salomon 2010).	13
Figure 7 : Flux énergétiques globaux du système de production et du système analysé.....	14
Figure 8 : Support des plants de tomates et intrants externes (Salomon 2010).	15
Figure 9 : Les trois phénomènes physiques de pertes thermiques (Legrand 2008).	18
Figure 10 : Principe d'une PAC (Legrand 2008).	20
Figure 11 : Schéma de principe du principe de stockage d'énergie thermique en aquifère (ADEME 2007).	21
Figure 12 : modélisation du déplacement des « bulles » d'eau au niveau des puits chaud et froid (ADEME 2007).	22
Figure 13 : Aspects principaux du stockage d'énergie thermique en aquifère (ADEME 2007).	22
Figure 14 : comparaison de la filière traditionnelle et de la cogénération en production de chaleur (Legrand 2008).	23
Figure 15 : Répartition de la ZAS de la plaine de l'Aire (GMA 2006 & Google Maps 2010).	26
Figure 16 : Proximité des ZAS (marron) de la Plaine de l'Aire et de la ZI (violet) de Plan les Ouates (Etat de Genève 2005).	27
Figure 17 : Serres sur les toits d'immeubles au Japon et visions d'artistes pour un projet de stade végétalisé et d'une ferme verticale. (blog.savates.org, Jacques Ferrier Architectures & The Vertical Farm Project 2009).	29
Figure 18 : Etendue des réseaux de gaz naturel et de chauffage à distance de Genève (Beck 2010).	30
Figure 19 : Profondeur de molasse du territoire genevois, paramètre essentiel à la production géothermique (Deriaz 2009).	31
Figure 20 : Variation de températures des serres pour une production standard (rouge) et une production IT (bleu) (Granges 2006).	32
Figure 21 : Les trois scénarios de production maraîchère proposés.	35

1. Introduction

A l'heure de la globalisation des marchés, de l'échange intense de biens de consommation et de marchandises à travers le monde, la question de la production alimentaire revêt une importance capitale. Nos sociétés occidentales, fondamentalement urbaines, ont pour la plupart perdu le sens de ce qu'est la production de denrées alimentaires. Le lien entre la terre d'où viennent les produits que nous consommons et le lieu où nous vivons n'a quasi plus d'importance. Peu importe que les produits viennent de l'autre bout du monde ou qu'ils aient nécessité des quantités astronomiques d'énergie pour être produits : pourvu qu'ils soient disponibles en quantité et en tout temps. Dans cette optique, le consommateur devient de plus en plus exigeant et souhaite avant tout avoir le « choix ». Les étales de la grande distribution sont devenues les seules véritables « potagers » que connaissent les citadins, le lieu « magique » où l'on « cueille » tout au long de l'année ce que bon nous semble de manger. Si caricatural que soit ce portrait de nos comportements alimentaires, il n'en reste pas moins relativement proche de la réalité. Cependant, la prise d'importance croissante des questions environnementales dans la société, des limites physiques que nous impose notre environnement, amène nombre de consommateurs et d'acteurs à remettre en cause ce système. Le caractère vital de l'alimentation fait de la question de sa production un des enjeux majeurs auquel nos sociétés se doivent de répondre.

Le mode de production et de consommation alimentaire dominant que nous connaissons actuellement est intrinsèquement lié à notre organisation sociale : d'un côté des producteurs de moins en moins nombreux dans les « campagnes » ; de l'autre des consommateurs toujours plus nombreux dans les « villes » ; entre les deux : des transports. Pourtant, si l'on remonte quelques siècles en arrière, les premières villes se sont développées là où les terres étaient les plus fertiles. A force d'augmenter les rendements de production, il a été possible de dégager un surplus alimentaire permettant à une partie de la force de travail de développer d'autres activités et ainsi, de fonder les villes. Aujourd'hui encore, la plupart des villes sont entourées par des terres agricoles productives, mais le lien avec ces dernières c'est progressivement atténué, jusqu'à s'estomper complètement. L'agriculture n'entretient plus de relations directes avec la ville, il n'y a plus qu'un rapport de mitoyenneté : c'est ce que Fleury et Donadieu (1997) appellent l'agriculture péri-urbaine.

Lorsqu'on évoque la production agricole moderne et intensive, le problème de la consommation énergétique apparaît comme étant l'un des enjeux centraux. Le caractère urbain de nos sociétés implique que toujours moins de personnes produisent toujours plus de denrées alimentaires. Pour ce faire, il a fallu recourir à la mécanisation des pratiques agricoles, à l'utilisation massive d'engrais et surtout aux transports qui représentent le lien unissant « lieux de production » et « lieux de consommation ». Tout ce système repose sur une consommation d'énergie fossile que dorénavant nous savons limitée. La question globale sous-jacente à ceci est donc : que pouvons-nous entreprendre pour réduire l'intensité du lien entre production alimentaire et consommation énergétique ?

L'une des réponses envisageables est de renforcer le lien entre ville et agriculture en créant des relations fonctionnelles, de proximités, et en cherchant à intégrer ces deux entités territoriales : passer d'une agriculture péri-urbaine à une agriculture urbaine (Fleury & Donadieu, 1997). C'est précisément cet aspect que nous allons développer tout au long de ce travail.

La Suisse, pays dont la tradition agricole est encore fortement ancrée dans le paysage, n'échappe aux constats évoqués ci-dessus. De par la petitesse de son territoire, l'agriculture domine encore largement le paysage et sa présence aux abords des villes est quasi systématique. C'est précisément dans ce contexte que notre travail de réflexion s'inscrit. Le propos de ce travail n'est pas de faire une analyse exhaustive de tous les enjeux énergétiques liés à la production agricole en Suisse, mais plutôt d'entreprendre une réflexion sur un cas concret : celui de l'Agglomération Franco-Valdo Genevoise (AFVG) et de la production maraîchère sur le territoire de la Plaine de l'Aire - Saint-Julien.

1.1 Le projet d'agglomération

Le projet d'agglomération franco-valdo-genevois (AFVG) a précisément pour ambition d'intégrer l'agriculture dans son schéma directeur en la considérant comme une part importante des activités urbaines. Plusieurs des objectifs du projet d'agglomération entrent dans cette problématique énergétique et cherchent à promouvoir une agriculture locale répondant aux besoins du développement urbain. Parmi ceux-ci, retenons en quelques-uns (CRFG 2007) :

- Maintenir l'agriculture genevoise, en garantissant la rentabilité des activités de production.
- Encourager une production de proximité, en lien avec le marché genevois.
- Inciter à la multifonctionnalité du territoire en intégrant des activités urbaines diverses.

Une région distincte de l'agglomération va nous intéresser plus particulièrement dans ce travail. Il s'agit du périmètre d'aménagement coordonné d'agglomération (PACA) de St-Julien-Plaine de l'Aire. Notre cas d'étude se concentrera sur la production maraîchère de ce périmètre.

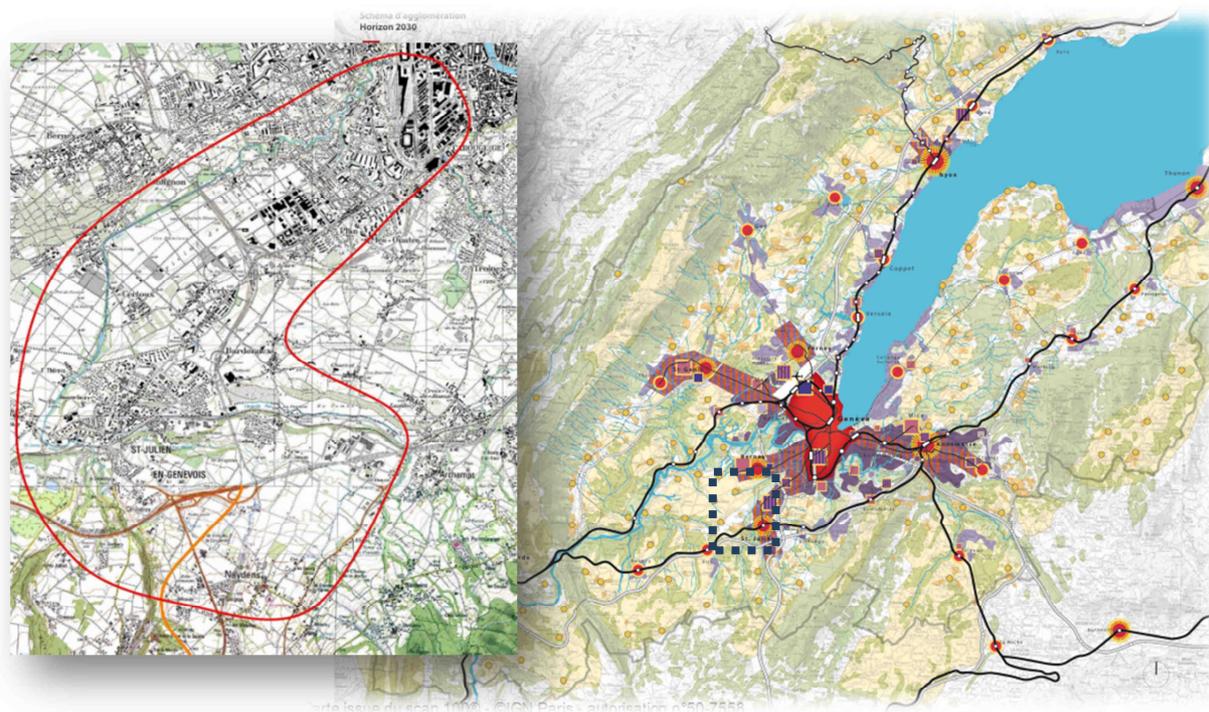


Figure 1 : Schéma directeur et PACA de St-Julien - Plaine de l'Aire de l'AFVG (CRFG 2007 & Salomon 2010).

1.2 Problématique

La production maraîchère genevoise représente plus de 20'000 tonnes de légumes par an (OPAGE 2006). De manière schématique, deux grands types de productions maraîchères peuvent être distingués dans la Plaine de l'Aire : une production « classique » et une production « intensive ». La production « classique » consiste à produire des légumes en pleine terre à l'air libre ou sous des serres à armatures métalliques recouvertes de plastique, les « tunnels ». Ce mode de production est le principal dans la région genevoise et occupe 270 ha (OPAGE 2006). Cette production implique le respect d'une saisonnalité dans le type de production. En effet, le climat genevois est tempéré et n'offre que quelques mois dans l'année de températures clémentes. Il y a donc une production d'hiver et une production d'été. Bien que moins gourmande en énergie que la production « intensive », la distribution de cette production et son organisation actuelle, implique tout de même de nombreux transports, alors même qu'elle est située juste en périphérie de la ville.

Pour contourner les contraintes climatiques et produire des légumes estivaux tout au long de l'année, la production « intensive » a été développée. Il s'agit d'une production hors-sol, sous des serres en verre, « chapelle simple » ou « multi-chapelles ». Pour assurer la production, ces serres sont chauffées essentiellement à partir de combustibles fossiles comme le gaz naturel. Malgré le fait que ce mode de production n'occupe que 27 ha, sa consommation d'énergie est très élevée et représente en moyenne 20% à 30% des coûts de production (Fabien 2007).

Bien que le chauffage des serres soit le poste de consommation le plus important, l'ensemble de la chaîne de production est énergivore : importation des substrats en coco pour la culture, intrants nutritionnels d'origines fossiles, plantons et transports en sont quelques exemples. Dans le cas de l'agglomération genevoise, ce type d'exploitations maraîchères se destine prioritairement à la production de tomates, puisqu'elles assurent 20% de la production indigène (OPAGE 2006). C'est sur ce mode et ce type de production que nous avons choisi de nous focaliser dans ce travail.

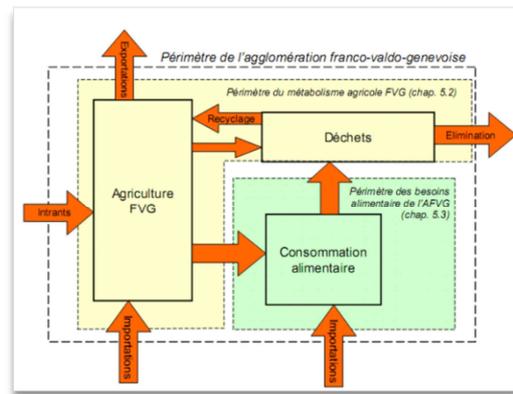


Figure 2 : Système agricole genevois et principaux flux (Faessler&Lachal 2008).

En effet, outre les aspects environnementaux comme les émissions de gaz à effet de serre, ce type de production doit impérativement trouver une alternative aux énergies fossiles pour pouvoir perdurer. Toutefois, il convient de ne pas ignorer le mode de production « classique » qui constitue aussi une alternative intéressante dans la recherche de solutions pour atténuer le lien entre énergie et agriculture. Cependant notre analyse portera exclusivement sur la production hors-sol sous serres puisque l'énergie y joue un rôle prépondérant par rapport au mode de production « classique ».

Pour démarrer notre analyse nous nous appuyons sur trois questions de recherche principales : quelles stratégies mettre en place pour parvenir à diminuer ou rationaliser la consommation énergétique de la production maraîchère de l'AFVG ? Quel rôle peut jouer la proximité entre ville et production maraîchère dans ces stratégies ? Dans quelle mesure le passage d'une agriculture « périurbaine » à une agriculture « urbaine » offre des solutions ?

Ces questions de recherches nous permettent de formuler un certain nombre d'hypothèses. Premièrement, les stratégies qu'il est possible de mettre en œuvre pour diminuer la consommation énergétique de l'activité maraîchère de l'AFVG ont trois dimensions : une dimension spatiale, une dimension technologique et une dimension institutionnelle. La dimension spatiale doit être comprise dans le sens où les stratégies pourront être mises en œuvre soit au niveau même de l'exploitation, soit au niveau de la localisation de l'exploitation. La dimension technologique fait référence aux technologies qu'il est possible de mobiliser pour réduire la consommation énergétique. La dimension institutionnelle intègre tous les acteurs (Etats, Unions maraîchères, etc.) qu'il sera probablement nécessaire de réunir pour assurer le succès des mesures proposées.

Deuxièmement, la proximité avec la ville offre un potentiel intéressant de valorisation des rejets thermiques, notamment au travers de l'établissement de la zone agricole spéciale à proximité de la zone industrielle. Cette réflexion repose sur l'un des concepts clés de l'écologie industrielle, le concept de synergies éco-industrielles (Erkman 2004). Dans cette optique, il deviendrait possible d'envisager de valoriser les rejets thermiques d'industries voisines dans le but de fournir tout ou partie de l'énergie thermique nécessaire au chauffage des serres. Finalement la proximité avec la ville, donc avec le marché, permet de réfléchir à la mise en place d'un système alternatif de distribution de la production, qui serait moins dépendant des transports et par là même, de l'énergie fossile.

1.3 Méthodologie

La structure de notre travail s'articule selon la méthodologie suivante. Premièrement, nous allons identifier la situation générale de l'agriculture genevoise en termes énergétiques. L'objectif de cette démarche étant d'avoir en tête une sorte de « background » des différents enjeux liés à l'énergie ainsi qu'une idée du « métabolisme » énergétique de la région. Cette partie se basera essentiellement sur le rapport R3-VIRAGE : Agriculture et énergie, réalisé dans le cadre du projet de Valorisation Intensive des énergies Renouvelables dans l'Agglomération Genevoise (Faessler & Lachal 2008).

Deuxièmement, il s'agit de sélectionner un type et un mode de culture représentatif de notre problématique. En l'occurrence et suite à une visite de terrain dans le courant du mois de mars 2010 dans l'exploitation *Jaquenoud SA*, nous avons choisi de nous pencher sur la question de la production « intensive » de tomates hors-sol. En termes énergétiques, c'est ce mode de production qui nous paraît être le plus pertinent pour notre analyse. Ceci étant, nous reviendrons sur le mode « classique » et sur ses potentialités au terme de ce travail.

Troisièmement, nous procéderons à une revue de la littérature scientifique portant sur la production « intensive » et son lien avec l'énergie ainsi que les techniques disponibles pour l'atténuer. A ceci, s'ajoutera aussi une analyse de l'aménagement territorial de l'AFVG et du potentiel qu'il offre en termes de synergies énergétiques (Erkman 2004) avec d'autres installations, notamment au travers de Zones Agricoles Spéciales (ZAS).

Quatrièmement, nous confronterons nos pistes de réflexion, nos suggestions et nos hypothèses générales au cas de l'AFVG. L'objectif étant d'établir trois scénarios globaux permettant de répondre aux enjeux énergétiques susmentionnés et de les comparer dans le cadre d'une analyse multicritères.

Finalement, dans une cinquième et dernière partie, nous reviendrons sur les principales difficultés que nous aurons décelées et sur les perspectives futures d'amélioration.

2. Contexte du maraîchage genevois

Le propos de ce chapitre est principalement descriptif. L'objectif ici est de poser le cadre dans lequel s'inscrit notre réflexion. Dans un premier temps, nous établirons un état des lieux de la situation maraîchère de l'AFVG en termes énergétiques. Dans un deuxième temps, nous décrirons la situation maraîchère, notamment le cas de la production hors-sol, aux niveaux législatif et institutionnel (règlements relatifs aux activités en zones agricoles spéciales, relations entre pouvoirs publics et agriculteurs).

Dans un troisième temps, nous préciserons le système étudié (production de tomates hors-sol) sur la base des activités de l'entreprise *Jaquenoud SA*, en mettant l'accent sur les avantages et inconvénients liés à ce type de production, notamment au niveau des impacts énergétiques.

2.1 Contexte énergétique de la production maraîchère genevoise

Bien que l'AFVG regroupe deux pays, deux cantons et une région, cette partie s'attache à décrire les principales caractéristiques de la production maraîchère sur le sol genevois, plus précisément sur celui de la plaine de l'Aire. Le canton de Genève occupe depuis plusieurs années une position de leader dans le secteur de la production maraîchère en Suisse. Ceci s'explique par une tradition culturelle qui remonte au XIX^{ème} siècle et qui s'est développée grâce aux terres fertiles de la Plaine du Rhône. Dans ce contexte, les maraîchers genevois ont accumulé un savoir-faire dans la culture de toutes sortes de légumes. Bien que le mode de culture soit encore fortement dominé par la culture « classique », c'est-à-dire en pleine terre et/ou sous des tunnels en plastiques, la part de production réalisée hors-sol et sous serres a connu et connaît encore une croissance significative. Plusieurs facteurs permettent d'expliquer cette tendance (GMA 2006). Premièrement, bien que 43 % des terres cantonales soient encore en zone agricole (Beuchat 2010), il existe à Genève une forte pression foncière qui s'exerce sur les exploitations agricoles. La culture « intensive » représente donc un bon moyen d'augmenter la production tout en minimisant la consommation d'espace. Deuxièmement, la proximité de la ville représente un marché en croissance qui offre des débouchés intéressants pour les producteurs. Finalement, de manière générale, le marché suisse est largement déficitaire en termes de production de légumes puisque seule 50 % de la demande est couverte par la production indigène (OFAG 2002) et de ce fait, le secteur maraîcher constitue un secteur agricole particulièrement dynamique. La Figure 2 illustre le développement des cultures sous serres dans la région de Genève sur la période 1960-2008.

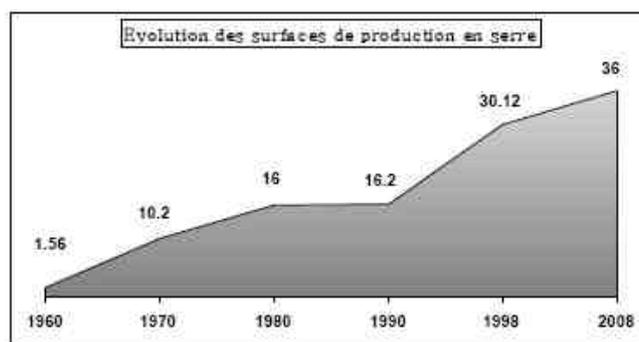


Figure 3 : Evolution des cultures sous serres en ha (UMG 2009).

Le développement de ce mode de production présente, certes, un nombre important d'avantages dans le contexte genevois. Cependant, ces cultures intensives présentent aussi des inconvénients et ce, particulièrement au niveau de la consommation énergétique. Nous l'avons vu plus haut, pour garantir un climat constant durant la période de production (avril à novembre dans le cas de la production de tomates), les serristes ont recours au chauffage des serres. Bien que les systèmes actuels soient de plus en plus performants, ils restent pour la plupart dépendants des énergies fossiles, essentiellement sous la forme de gaz naturel. De plus, et malgré la proximité de la ville de Genève, le système actuel de distribution de la production repose majoritairement sur le transport routier (nécessité de centraliser la marchandise avant de la distribuer dans les différents points de vente). Ce problème de la dépendance aux énergies fossiles a deux dimensions : une dimension économique et une dimension environnementale. Les installations de cultures sous serres nécessitent de gros investissements et la période de retour peut varier de 25 à 40 ans en fonction du type d'installation. De ce fait, les serristes qui ont optés pour une technologie de chauffage se retrouvent en quelque sorte « captifs » de cette technologie. A ceci s'ajoute la variation constante des prix du carburant et une tendance générale à la hausse, exerçant une pression croissante sur les marges des producteurs. Au niveau environnemental, cette consommation implique aussi de grandes quantités de rejets atmosphériques tels que les gaz à effet de serre (GES). Nous reviendrons plus en détails sur ces questions dans le chapitre 2.3.2 consacré aux impacts énergétiques et environnementaux de la production maraîchère hors-sol.

2.2 Contexte institutionnel et législatif

2.2.1 Les acteurs de la production maraîchère

La production maraîchère genevoise est constituée de multiples acteurs qui en construisent les orientations et l'avenir. Nous ne citerons ci-dessous que les quelques organismes qui nous paraissent être incontournables dans le contexte genevois. En premier lieu, les producteurs maraîchers sont représentés par leurs organisations faitières. AgriGenève, l'association faitière de l'agriculture genevoise, et l'union maraîchère genevoise ont pour principaux objectifs de sauvegarder les intérêts de ses membres, de leur offrir un soutien, de renforcer et de développer les marchés pour leurs produits.

Le projet d'agglomération franco-valdo-genevois est également central dans la sauvegarde et la reconnaissance de l'agriculture, en particulier du maraîchage, comme activité essentielle au développement futur de la métropole. Dans le contexte du projet d'agglomération, l'autorité cantonale est ici le partenaire privilégié dans la réglementation et la planification des activités de production maraîchère genevoise. Son service en charge de l'agriculture, la direction générale de l'agriculture DGA, est lui-même soumis à la politique fédérale en matière d'agriculture. Mais ses activités répondent également aux objectifs stratégiques de la politique agricole cantonale, à savoir la préservation des espaces agricoles et la promotion de sa production. L'un des moyens d'action dont dispose la DGA est l'Office de Promotion des produits Agricoles de Genève (OPAGE).

L'ensemble de ces institutions interagissent régulièrement et représentent les partenaires incontournables de la production maraîchère genevoise.

2.2.2 Planification territoriale

La situation spatiale et législative applicable à la production maraîchère hors-sol de Genève est particulière. La planification territoriale associée à cette production est effectivement soumise à la Loi fédérale sur l'aménagement du territoire LAT et à son Ordonnance sur l'Aménagement du Territoire OAT qui introduit les règles concernant les types de production agricole dite de « développement interne »¹. Entrée en vigueur le 1er septembre 2000, la révision de la LAT a entraîné une nouvelle réglementation particulière qui définit ce qu'est une production « indépendante du sol », c'est-à-dire une production agricole hors-sol, qu'elle soit végétale ou animale (Berret&Praz 2004).

En premier lieu, cette législation prévoit qu'une partie des zones agricoles soient désignées comme étant des zones spéciales pour accueillir des installations de type hors-sol². Il incombe aux cantons d'en définir la délimitation, en respectant les conditions définies par la LAT³ : conflits potentiels avec d'autres activités du territoire, effets sur le paysage, nuisances pour le voisinage (bruit, odeur, trafic, etc.), utilisation rationnelle du sol, etc.

Les exploitations de productions indépendantes du sol sont néanmoins autorisées hors des zones agricoles spéciales, mais sous certaines conditions⁴. L'exploitation agricole ne doit pouvoir subsister que grâce aux revenus complémentaires de la production hors-sol (notion de nécessité) et la surface de production hors-sol ne doit pas dépasser 35% de la surface maraîchère totale (surfaces cultivées), ou 5000m².

¹ Art. 16a, al. 2 LAT.

² Art. 38 OAT.

³ Art. 1-3 LAT.

⁴ Art. 37 OAT.

Les cantons de Genève et du Tessin sont les seuls à planifier des zones agricoles spéciales ZAS réservées à la production hors-sol. Contrairement aux autres cantons qui s'appuient sur une planification de zones où le hors-sol est exclu, Genève et le Tessin applique une planification positive. C'est ainsi que les ZAS genevoises représentent dorénavant 370 hectares équivalents à 3 % de la surface agricole utile totale du canton. La Plaine de l'Aire est le plus étendue des trois périmètres planifiés.

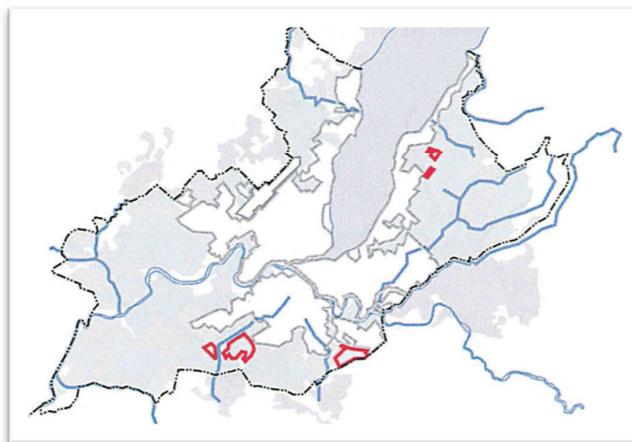


Figure 4 : Localisation des zones agricoles spéciale (Etat de Genève 2005).

2.2.3 Planification énergétique

Le canton de Genève s'est doté d'un plan directeur sur l'énergie et d'une loi sur l'énergie (L2 30) qui impose la réalisation d'un concept énergétique territorial pour toutes nouvelles planifications cantonales ou projets de construction de bâtiment. Un concept énergétique territorial permet d'identifier le potentiel énergétique sur un territoire donné, d'adapter les besoins énergétiques en fonction de l'offre en énergies renouvelables localement disponibles, et d'identifier les synergies et les conflits d'usage avec d'autres politiques publiques (Beck 2010).

Au travers de cet outil, Genève espère mieux maîtriser sa gestion énergétique du point de vue de l'offre et de la demande. Les objectifs consistent ici à diminuer les besoins énergétiques, à développer des infrastructures de production et de distribution efficace, et à utiliser le potentiel d'énergies renouvelables localement. La loi sur l'énergie propose d'ailleurs quelques moyens pour y parvenir. Parmi ceux-ci, notons par exemple que les autorités ont le pouvoir d'imposer le raccordement au thermo-réseau lorsque celui-ci est à proximité et la récupération des rejets de chaleur lorsqu'ils existent⁵. Elle prévoit également des incitations fiscales sous forme de subventions pour les propriétaires qui s'engagent à une amélioration thermique de leurs bâtiments⁶.

⁵ Art. 22 L2 30.

⁶ Art. 20 L2 30.

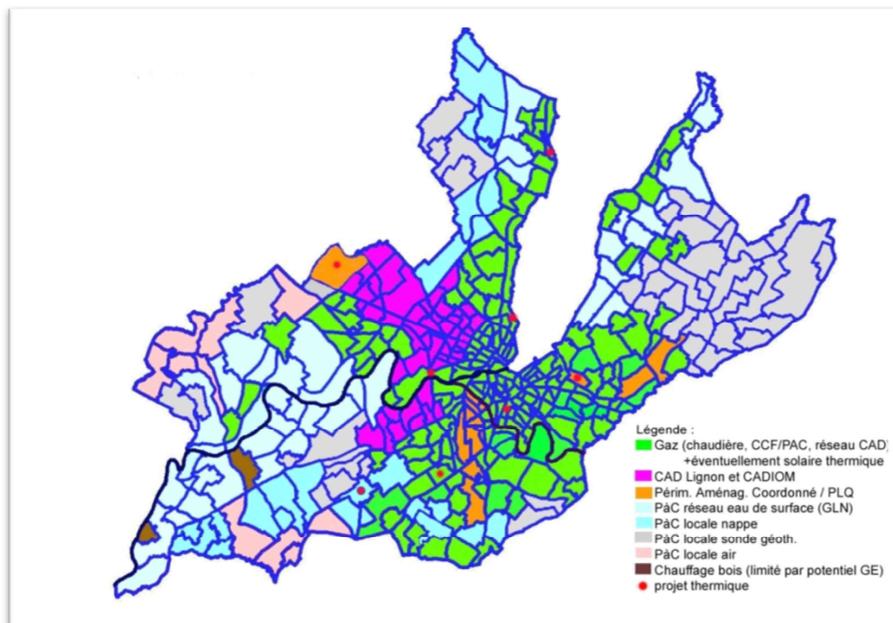


Figure 5 : Affectation territoriale des ressources énergétique en fonction des disponibilités locales (Beck 2010).

La figure ci-dessus indique l'attribution énergétique idéale pour chacune des zones genevoises. La zone concernée par notre étude est raccordée au réseau de gaz, et un des deux réseaux de chauffage à distance (CAD) du canton de Genève est à proximité. Le concept énergétique territorial préconise quant à lui d'exploiter pour la Plaine de l'Aire les nappes souterraines au travers de pompes à chaleur. Il est aussi à relever la présence des zones industrielles dans la région, qui offre des potentialités de valorisation des rejets de chaleur.

2.3 Définition du système et impacts principaux

Cette partie a pour objectif de définir clairement les limites du système étudié. Cette étape est un préalable important dans notre travail car elle permet de mettre en évidence les parties du processus de production sur lesquelles nous allons réfléchir et de clarifier notre propos.

2.3.1 Production maraîchère sous serres hors-sol : une exploitation de référence

Toute la partie qui suit est basée sur des informations obtenues auprès de l'entreprise *Jaquenoud SA* que nous avons été visiter durant le mois de mars 2010. Cette entreprise exploite 7 ha de serres de type « multi-chapelles » avec une hauteur au faîte de 6 mètres, localisées dans la Plaine de l'Aire (voir carte ci-dessous). L'exploitation produit essentiellement des tomates pour les circuits de la grande distribution, Coop et Migros. La période de production s'étend du courant du mois de janvier jusqu'à la fin du mois de novembre. Les serres sont ensuite désinfectées et entretenues puis remises en culture pour la saison suivante.

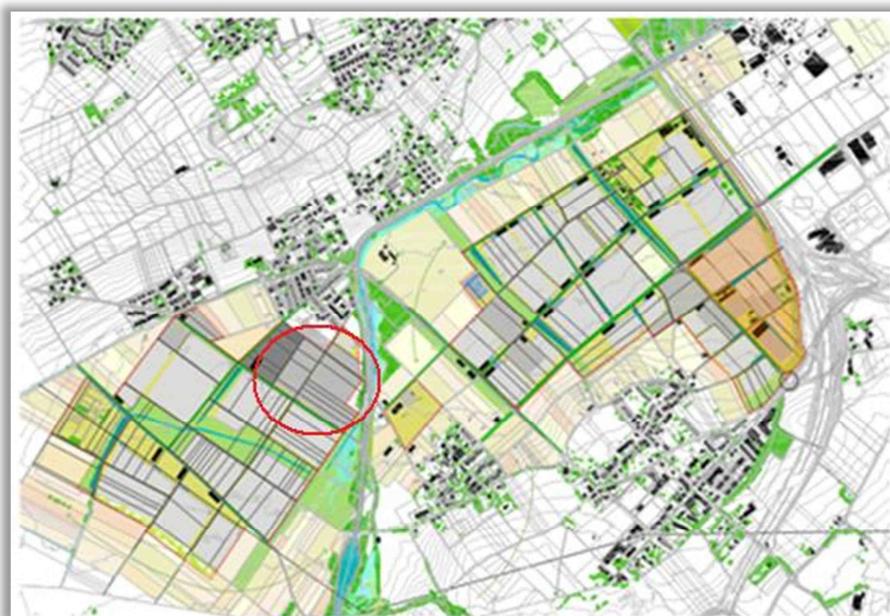


Figure 6 : Situation de l'exploitation Jaquenoud SA, Lully, Zone Agricole Spéciale (Salomon 2010).

Définir le système énergétique de ce type d'exploitation n'est pas une chose aisée lorsque l'on considère l'ensemble de la chaîne de production. Cette entreprise produit essentiellement des tomates dont les variétés sont brevetées par le géant agro-alimentaire *Monsanto*. L'entreprise n'est donc pas libre de produire ses propres plantons ou plantules et doit donc les importer à chaque nouvelle saison. L'essentiel de ces plantons sont produits, eux-aussi sous serres, en Hollande. Pour qu'ils soient disponibles au mois de janvier en Suisse il a donc fallu les produire durant la période hivernale en Hollande ce qui implique d'une part de chauffer les serres et, d'autre part, de mettre en place un dispositif d'éclairage artificiel pour compenser le manque de lumière naturelle. Une fois que les plantules sont arrivées à maturité, elles sont acheminées par camion jusqu'en Suisse. Pour démarrer la production, l'entreprise « plante » les plantules de tomates dans un substrat réalisé à

base de fibres de coco qui elles aussi sont importées. Ensuite, la croissance des tomates se déroule dans les serres chauffées. Une fois la croissance arrivée à son terme, la distribution peut commencer. Les tomates sont dans un premier temps cueillies puis réfrigérées sur place. Dans un deuxième temps, la récolte est transportée par camion réfrigérés pour être centralisée dans la centrale zurichoise de la Migros. Finalement, les tomates sont acheminées et distribuées dans les différents points de vente suisse et genevois avant d'être achetées et consommées.

Le sens de cette description du système de production de tomates hors-sol réside dans le fait qu'à chacune des étapes de production, de grandes quantités d'énergies sont mobilisées. Cette énergie prend plusieurs formes : électrique pour l'éclairage et la réfrigération, produits pétroliers raffinés pour le transport et les nutriments, gaz naturel pour le chauffage des serres. Toutes ces énergies ne sont pas, pour l'instant, substituables par d'autres vecteurs énergétiques et le propos de ce travail n'est pas de remettre en cause l'ensemble du système de production. La réflexion s'inscrit plutôt sur le potentiel de réduction ou de substitution de la consommation énergétique liée aux transports sur le sol suisse et au chauffage des serres genevoises. La Figure 7 résume le système décrit ci-dessus et pose les limites de l'espace analysé.

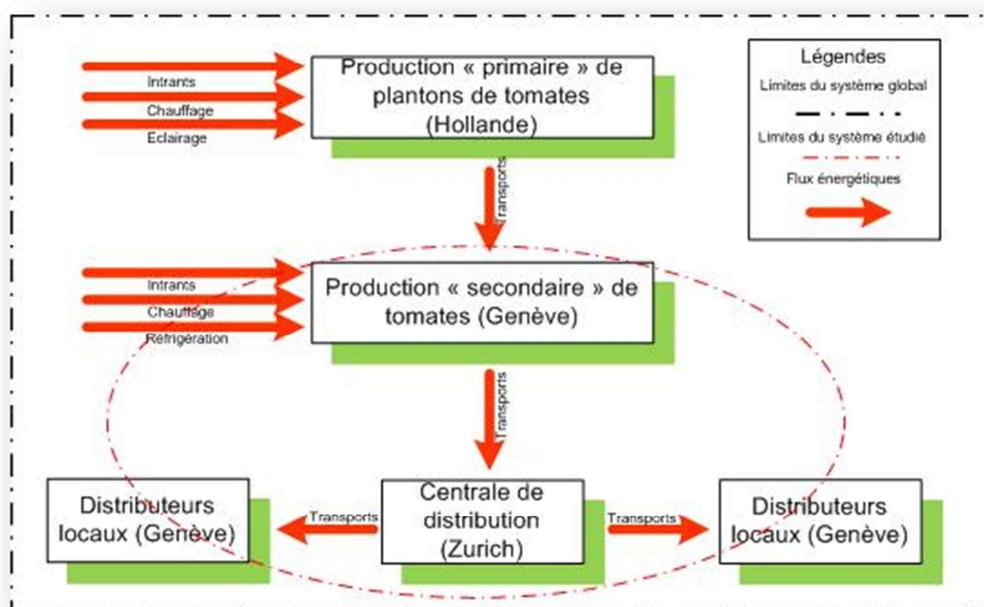


Figure 7 : Flux énergétiques globaux du système de production et du système analysé.

Nous voyons donc qu'il est possible d'agir soit au niveau des processus de production, en optimisant la consommation énergétique et en recherchant des substituts aux énergies fossiles, soit au niveau du processus de distribution de la production, en réfléchissant à la mise en place d'un système alternatif favorisant les échanges de proximités. Nous touchons là à deux des trois dimensions des solutions envisagées pour réduire le lien entre énergie et production hors-sol : la dimension technologique et la dimension spatiale qui seront développées dans le chapitre suivant (chapitre 3 « alternatives d'économie d'énergie »).

2.3.1 Impacts énergétiques de la production maraîchère sous serre hors-sol

Les impacts de la production maraîchère sous serres proviennent donc principalement de la production de chaleur destinée au chauffage des serres et des émissions de gaz à effet de serre (GES) qui en résultent. La température optimale doit atteindre une moyenne de 20° C, ce qui représente une consommation de 300kW par m² (Grisey 2007). Or, cette chaleur est essentiellement produite à partir de la combustion de gaz à raison de 70% des exploitations - contre 20% au mazout – pour une consommation de gaz de 40 à 50 Nm³ par m² (GMA 2006 : 50). Les exploitations sont donc clairement dépendantes des énergies fossiles et des évolutions du prix de ces ressources. Les coûts attribués au chauffage représentent déjà 20 à 40 % des charges de l'exploitation et au vue des augmentations dorénavant récurrentes des prix du pétrole et du gaz, cette proportion risque tout autant d'augmenter.

Certaines exploitations utilisent en outre l'éclairage artificiel pour augmenter le rendement des serres. Il en résulte une consommation énergétique accrue estimée à des puissances électriques de l'ordre de 20 Watts par mètre carré (GMA 2006). La mise en œuvre généralisée de cette technique de production impliquerait dès lors de tirer de nouvelles lignes directes depuis des sous-stations électriques. Ce procédé révèle aussi une problématique supplémentaire, celle des nuisances liées aux émissions lumineuses en milieu rural.

Par ailleurs, la production sous serres hors-sol consomme aussi indirectement de l'énergie au travers de l'apport d'intrants synthétiques pour la nutrition artificielle des plants. Puisque la production est indépendante du sol, les nutriments doivent être acheminés sur le lieu de production par camions pour ensuite approvisionner les plants via un système de goutte à goutte implanté dans le substrat (Figure 8). Ce substrat qui supporte la plante est lui-même composé, dans le cas de l'exploitation Jaquenoud SA, de fibres de noix de coco importées d'Asie du sud-est. Ces matières sont dans les deux cas importées dans l'exploitation et sont donc à l'origine de nombreux transport engendrant des émissions de GES. Mais cette description doit encore être complétée par les risques de pollutions associées à la manipulation des substances dommageables pour l'environnement lorsqu'elles sont entreposées en grandes quantités (phosphate, azote, etc.).



Figure 8 : Support des plants de tomates et intrants externes (Salomon 2010).

Un autre type d'impacts est celui lié à la production importante de déchets organiques issus de l'évacuation des plants en fin d'année. Cette matière n'est pas exploitée et directement emportée par camion dans la déchetterie municipale. Or, la matière compostable offre de multiples potentialités de valorisation énergétique, et parmi celles-ci figure la bio-méthanisation qui peut produire de l'électricité et de la chaleur par co-génération.

Lorsque les produits agricoles sont finalement prêts à la vente, il est encore nécessaire de les faire rejoindre le marché, là où la clientèle se trouve. Les impacts liés à la logistique sont ainsi loin d'être négligeables, ceci d'autant plus que la distribution des produits est complexe et relève de certaines aberrations dans son organisation. Par exemple, une tomate produite à Genève et vendue à Genève aura traversé la Suisse jusqu'à Zürich avant de pouvoir être consommée. La logistique est donc un poste de dépense énergétique important, responsable de graves répercussions et qu'il sera indispensable de réduire.

L'ensemble de ces processus de production et de logistique ont dès lors un impact important en termes de consommation énergétique et d'émissions de gaz à effet de serre. C'est pourquoi il est nécessaire dès à présent de proposer des solutions aux producteurs dans le but de rationaliser la consommation de ressources énergétiques et de réduire les coûts inhérents à la production. La suite de ce travail s'y attachera en proposant plusieurs alternatives énergétiques envisageables dans le contexte genevois.

3. Alternatives énergétiques

Ce chapitre s'articule en trois parties principales. Dans la première partie seront présentées différentes technologies dont la mise en œuvre peut être envisagée pour réduire la consommation énergétique au niveau de l'exploitation. Dans une deuxième partie, nous aborderons la dimension spatiale des alternatives envisagées. Une troisième partie présentera succinctement quelques alternatives qui touchent aux choix des variétés de plants cultivés. Finalement, dans la quatrième partie, nous reviendrons sur la dimension institutionnelle en réfléchissant aux mesures politiques et économiques qu'il serait souhaitable de mettre en place pour favoriser une utilisation durable et rationnelle de l'énergie dans la production maraîchère genevoise hors-sol.

3.1 Aspects technologiques : efficacité des sites de production

3.1.1 Efficacité technique des serres et gestion du climat

Mettre en œuvre des solutions visant à réduire la consommation énergétique des serres ne peut être raisonnablement entrepris sans commencer par considérer les aspects énergétiques de la serre elle-même. La serre et surtout sa conception et son entretien constituent donc les outils de base pour limiter la consommation énergétique. Les stratégies proposées ci-dessous sont toutes applicables dans des serres déjà existantes. Cette distinction est essentielle dans la mesure où certaines des technologies présentées dans la suite de ce travail nécessiteront soit d'importants travaux de modernisation soit une (re)construction complète de l'appareil productif.

Globalement, les serres sont « victimes » de trois phénomènes physiques qui induisent des pertes thermiques : la convection, la conduction et le rayonnement. La convection représente la perte thermique occasionnée par la différence de densité entre les masses d'air froides (plus denses) et les masses d'air chaudes (moins denses). Lorsque les ouvrants⁷ sont ouverts durant la période estivale, une grande partie de l'énergie thermique emmagasinée dans la serre est ainsi dissipée. Les pertes par conduction sont intrinsèquement liées à la structure des serres. Les serres étant constituées de grandes surfaces de verres, elles sont beaucoup plus soumises aux pertes thermiques par conduction que les bâtiments classiques. La chaleur interne traverse les structures et se retrouve dissipée à l'extérieur. Le dernier phénomène est celui du rayonnement. Tout au long de la journée, le sol de la serre et les cultures emmagasinent de la chaleur. La nuit venue, cette chaleur se dissipe sous la forme de rayonnements infrarouges. Contrairement à ce qui se passe dans la nature (l'effet de serre), les vitres ne peuvent pas stopper ce flux thermique et la chaleur est perdue.

⁷ Les ouvrants sont les volets situés sur le toit des serres permettant l'aération et le refroidissement de ces dernières.

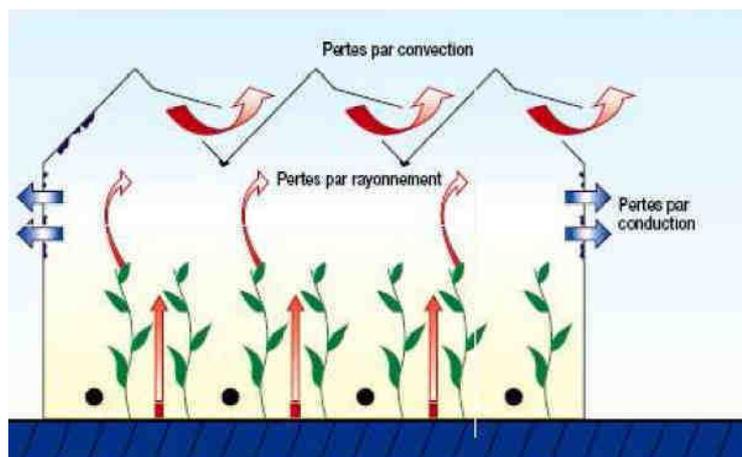


Figure 9 : Les trois phénomènes physiques de pertes thermiques (Legrand 2008).

Plusieurs mesures peuvent être entreprises pour limiter ces pertes et rationaliser la consommation énergétique. Ces mesures peuvent être simples à mettre en œuvre et ne nécessitent pas toujours des investissements importants. Contrôler l'étanchéité de la serre et la propreté des vitres permet d'une part de limiter les pertes et d'autre part d'augmenter l'apport d'ensoleillement la journée. Selon une étude réalisée par l'ADEME, cette simple démarche permettrait d'économiser entre 3 et 6 % d'énergie (ADEME 2007). Un peu plus coûteuse mais aussi plus efficace est la mise en place d'écrans thermiques sur les toits de la serre. En effet, comme nous l'avons vu, les toits sont responsables des pertes thermiques à deux titres : pertes par convection et pertes par rayonnement. De multiples modèles d'écrans thermiques sont disponibles sur le marché. De plus, la mise en place de ces écrans présente un double avantage : ils limitent les pertes par rayonnement la nuit et facilite la régulation de la température le jour en permettant d'optimiser l'ombrage. Il est aussi possible d'agir sur les installations de chauffage. L'ADEME recommande par exemple la vérification régulière des sondes climatiques et le « calorifugeage » du réseau primaire de distribution de chaleur (ADEME, 2007).

Il existe encore une stratégie permettant de maximiser l'efficacité énergétique des serres existantes. Il s'agit de la gestion intégrée du climat assistée par ordinateur. Les serres traditionnelles fonctionnent généralement sur le concept de « températures de consignes ». Cela signifie simplement que la température est réglée sur une certaine valeur et qu'un thermostat déclenche la production de chaleur lorsque la valeur est dépassée et l'enclenche lorsque la température passe en-dessous de la valeur fixée. Cette situation n'est de loin pas optimale puisque les variations climatiques journalières peuvent être très importantes suivant les saisons et que le thermostat ne peut pas être ajusté tous les jours par le producteur. La stratégie de gestion intégrée du climat permet de palier à cette difficulté. Le principe est le suivant : des baisses de températures sont autorisées de nuit en fonction des températures du jour et des prévisions météorologiques du lendemain. De cette manière, il est possible d'obtenir des températures moyennes constantes sur une période donnée, qui ne doit pas être inférieure à 24 heures. Cette stratégie exploite la capacité des plantes à tolérer des variations de températures instantanées par rapport à l'optimum. Ceci permet de valoriser au maximum l'énergie solaire gratuite et renouvelable durant la journée et de compenser ce surplus de chaleur emmagasinée durant la journée par des températures plus basses la nuit.

Pour réaliser cette intégration des températures, l'utilisation d'un logiciel informatique est recommandée. Il en existe plusieurs sur le marché comme par exemple le programme *Ecoserre* développé par l'Institut National de Recherches Agronomiques (INRA).

3.1.2 Géothermie, pompes à chaleurs et « serres-captur d'énergie »

La géothermie consiste globalement à exploiter la chaleur contenue dans les eaux du sol. Il existe trois grands types de géothermie : la géothermie peu profonde à basse températures, la géothermie profonde à haute température et la géothermie très profonde à très haute température (Wikipedia 2010). Pour pouvoir exploiter la géothermie, les conditions géologiques de la région sont déterminantes. Dans le cas de Genève, il apparaît que la géologie est assez bien connue et documentée et que la région offre un potentiel important. Dans le cadre de la *journée genevoise de géothermie et de la planification territoriale* (Deriaz 2009), plusieurs éléments sont ressortis. Les éléments favorables à l'exploitation sont une bonne connaissance du contexte géologique et un terrain favorable (argile et molasse), un gradient d'écoulement des nappes faible (nous reviendrons sur cette notion quand nous traiterons des serres-captur d'énergie), pas de risques sismiques majeurs en cas de forage profond. Toutefois, plusieurs difficultés ressortent : une emprise importante au sol lors de la période de travaux, la répartition et la disponibilité de la ressource sur le territoire (capacité des nappes, températures) et finalement, le dimensionnement des installations pour répondre aux variations thermiques saisonnières. Nous voyons donc que la géothermie offre un potentiel intéressant mais ne représente pas une solution spécifiquement adaptée à la production agricole sous serres. Néanmoins, cette piste mérite d'être retenue et approfondie.

Plus spécifiquement liée à la production de chaleur pour les serres agricoles, l'utilisation de pompes à chaleur (PAC) représente une autre alternative intéressante. Le principe de base des pompes à chaleur est de transférer de l'énergie thermique d'une source « froide » qui sera refroidie, vers une source « chaude » qui sera réchauffée. Cette technique permet d'inverser le phénomène naturel qui implique que la chaleur se déplace de la zone la plus chaude vers la zone la plus froide et ce, jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint. Cet échange entre sources peut se faire de trois manières différentes : air/air, air/eau ou eau/eau. Le principe thermodynamique à la base de ces systèmes est exactement le même que pour un frigo classique. Un fluide frigorigène circule sous l'action d'un compresseur électrique entre les deux sources. Lors du passage dans la zone froide, le fluide est comprimé jusqu'à vaporisation et emmagasine de la chaleur (endothermie). Le fluide circule ensuite jusque dans la zone chaude où la pression diminue : le fluide se liquéfie et libère la chaleur emmagasinée précédemment (exothermie). La Figure 10 ci-dessous résume le principe.

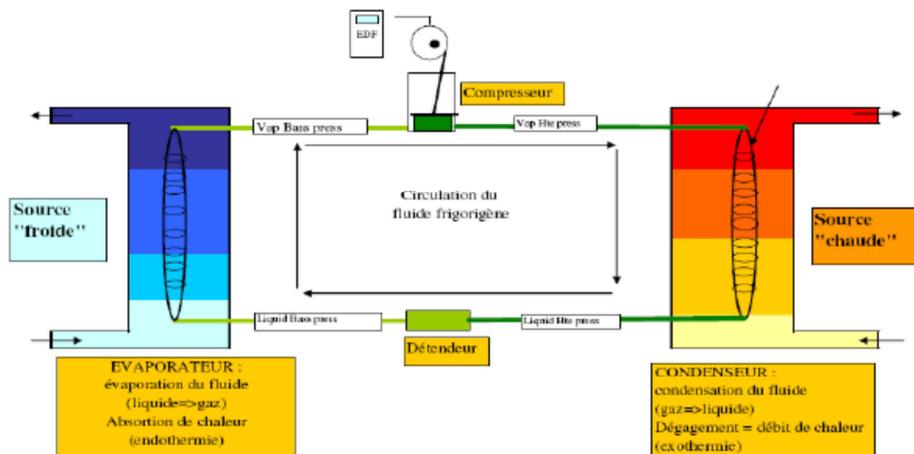


Figure 10 : Principe d'une PAC (Legrand 2008).

Ce principe est utilisé actuellement à Genève pour chauffer des bâtiments et le jardin botanique. Il s'agit d'un système de type « eau/eau » très performant puisque pour une unité d'énergie dépensée pour le pompage, vingt unités d'énergie thermique sont récupérées (Spierer, 2007). En ce qui concerne les serres agricoles, le type « air/eau » est vraisemblablement le plus adapté. En effet, il peut être installé sur une serre individuelle et ne nécessite pas de gros travaux. Selon les premiers résultats obtenus dans les installations finistériennes bretonnes, ce type d'installation, beaucoup moins performant que le type « eau/eau », permet de récupérer deux à trois unités d'énergie thermique pour une unité d'énergie électrique et suivant les cas et les installations, d'économiser de 20 à 30 % d'énergie fossile (Legrand 2008). Quelques difficultés doivent encore être soulevées. Au niveau technique, ce type de système est largement tributaire du climat, car plus la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur de la serre est élevée, plus le rendement diminue (voir principe ci-dessus). Au niveau économique, ces installations sont pour l'heure peu rentables et nécessiteraient un soutien financier de la part de l'Etat.

Une dernière alternative novatrice peut être envisagée : les « serres-captateur d'énergie ». Cette technologie est actuellement développée au Pays-Bas et semble très prometteuse. Il s'agit en quelque sorte d'une hybridation entre géothermie et pompe à chaleur. Les premières études ont été menées en 1980 par l'INRA en collaboration avec le Comité National Interprofessionnel de l'Horticulture (CNIH). Malgré des essais concluants, l'importance de l'investissement à consentir couplée à la baisse du prix des produits pétroliers dans les années suivantes n'ont pas permis l'essor de cette technologie. Le principe de base est le suivant : les serres, en vertu du principe bien connu de l'« effet de serre », piègent la chaleur en laissant passer le rayonnement solaire à travers le verre (ondes longues) et empêchent cette chaleur de ressortir sous forme de rayonnement infrarouge (ondes courtes). En période estivale, ce phénomène induit une trop grande température dans la serre qui doit être aérée de façon à libérer cet excédent de chaleur qui est dès lors perdu. En hiver, ce phénomène n'est pas suffisant pour assurer une température de croissance adéquate pour les plantes de jour comme de nuit, il est donc nécessaire de compléter l'apport solaire par une source de chaleur alternative, généralement des combustibles fossiles. Le concept de la « serre-captateur d'énergie » consiste donc à « stocker » l'excédent thermique de la période estivale pour l'utiliser durant la période hivernale. L'hybridation du système intervient au niveau du système de stockage. La serre doit se trouver à proximité d'un aquifère dans lequel deux puits sont forés à bonne distance

l'un de l'autre. En période estivale, l'eau est pompée dans la « zone froide » de l'aquifère et refroidit la serre en emmagasinant l'excédent de chaleur. Une fois l'eau réchauffée et la serre refroidie, l'eau chaude (20 à 25°C) est réinjectée via le deuxième puits dans la « zone chaude » de l'aquifère. En période hivernale, le système est inversé : l'eau est pompée dans la « zone chaude », se refroidit en libérant sa chaleur dans la serre puis, est finalement réinjectée dans la « zone froide » de l'aquifère. La figure suivante illustre le système.

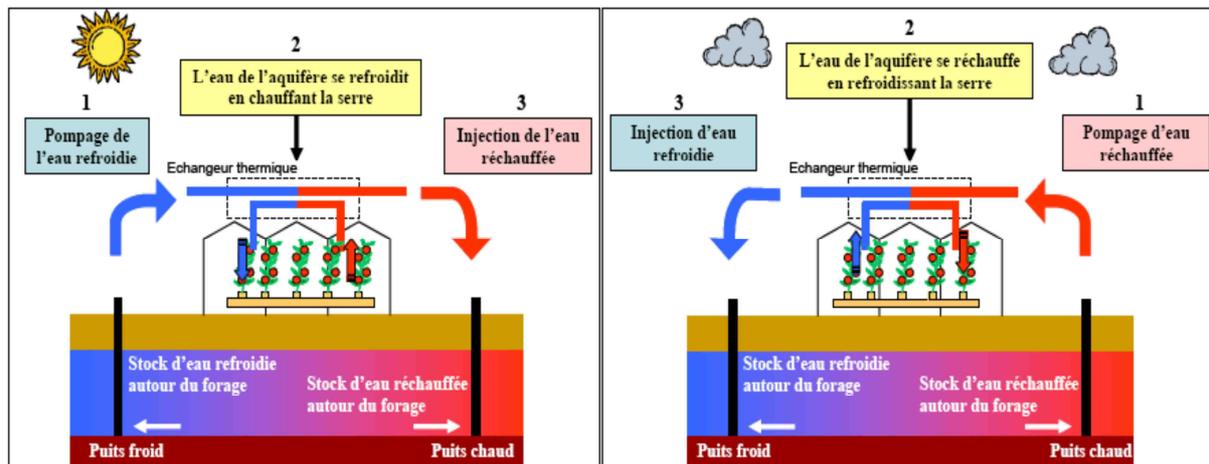
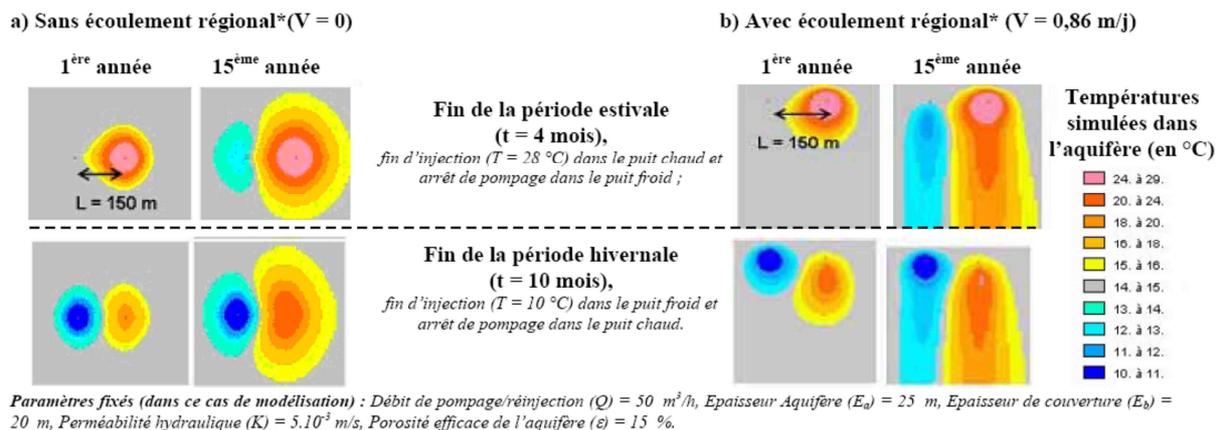


Figure 11 : Schéma de principe du principe de stockage d'énergie thermique en aquifère (ADEME 2007).

Cette technique présente de nombreux avantages mais aussi plusieurs inconvénients. Au niveau des avantages, cette technique permet d'être indépendant de la géothermie du milieu puisque l'apport thermique est assuré par l'« effet de serre ». De plus, et contrairement à la géothermie « conventionnelle », l'eau qui est pompée est réinjectée dans l'aquifère et non pas à l'extérieur (dans un cours d'eau par exemple), ce qui permet d'une part de maintenir constant le niveau de la ressource et d'autre part, de stocker de l'énergie. Les inconvénients et contraintes sont de trois types : techniques et hydrogéologiques, économiques et réglementaire. Les contraintes techniques et hydrogéologiques tiennent à la présence d'un aquifère à proximité de l'exploitation mais surtout aux caractéristiques hydrogéologiques de ce dernier. En effet, le volume d'eau à disposition et l'interaction des paramètres du sol (type de sol, porosité, etc.) déterminent directement le rendement de l'installation. Pour évaluer ces paramètres et leurs interactions, une étude de sensibilité doit préalablement être réalisée. Par exemple, une porosité élevée du sol est une bonne chose dans la mesure où elle facilite le pompage de débits importants mais une mauvaise chose dans le sens où elle favorisera un écoulement rapide de l'eau et la perte de l'énergie stockée : c'est ce que l'on qualifie de « gradient d'écoulement ». Pour tenir compte de cette interaction, une modélisation du site est donc indispensable. La Figure 12 présente les résultats obtenus par l'étude de préféabilité de l'ADEME et CTIFL.



*Vitesse d'écoulement régional dépend de la perméabilité et du gradient hydraulique

Figure 12 : modélisation du déplacement des « bulles » d'eau au niveau des puits chaud et froid (ADEME 2007).

Cette modélisation a permis de mettre en évidence des variations de rendement importantes en fonction du site où est exploitée cette technique, le taux d'énergie récupérée variant de 0 à 75 % de l'énergie stockée (ADEME & CITFL, 2007). La vitesse d'écoulement naturel des eaux de l'aquifère est donc le paramètre clé pour déterminer la faisabilité de cette technique. En résumé, trois aspects principaux doivent être pris en compte : le débit disponible, la réinjection de ce débit et la conservation de l'énergie.

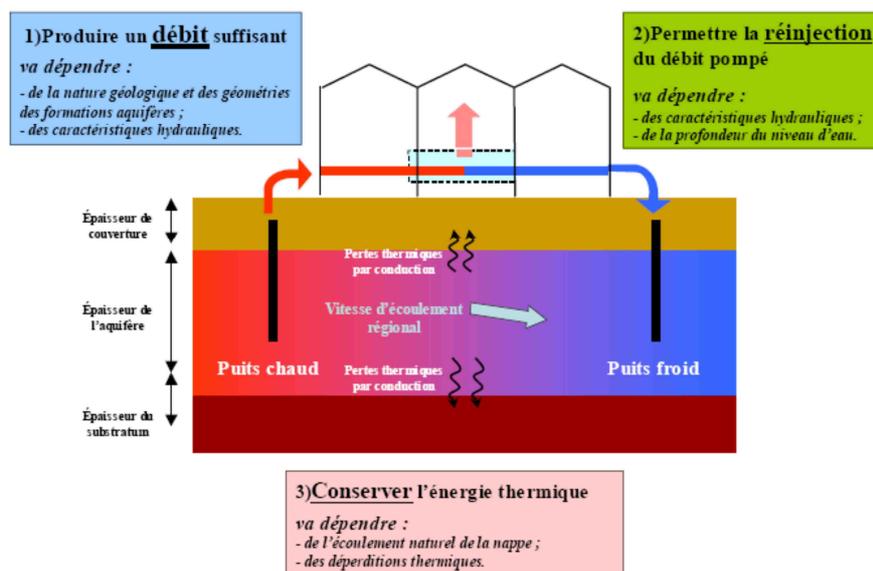


Figure 13 : Aspects principaux du stockage d'énergie thermique en aquifère (ADEME 2007).

Les contraintes économiques sont liées d'une part aux coûts des études préalables à mener et d'autre part, au coût de l'installation proprement dite. Une bonne connaissance hydrogéologique du site permet de réduire le coût des études. Les chiffres disponibles font état d'un investissement global situé entre 5'000 et 20'000 euros (ADEME 2007). Les contraintes réglementaires portent sur les règlements concernant les débits maximaux qui peuvent être extraits de la nappe phréatique et de la température de l'eau lors de la réinjection. Dans le cas de Genève, cette solution mérite d'être étudiée puisque les Zones Agricoles Spéciales se situent au bord de l'Aire donc à proximité de nappes phréatiques.

La géologie est relativement bien connue et les nappes phréatiques présentent des « gradients d'écoulement » faibles donc propice à l'accumulation d'énergie thermique (Spierer, 2007). Au niveau réglementaire, l'utilisation des eaux superficielles et souterraines est régie par le *règlement sur l'utilisation des eaux superficielles et souterraines* (RUESS), dont l'article 7 alinéa 1 stipule que *toute utilisation de l'eau à des fins hydrothermiques d'une capacité égale ou supérieure à 10'000 litres/minute est soumise à une concession délivrée par le Conseil d'Etat quelle que soit sa durée* (Etat de Genève 2010, http://www.ge.ch/legislation/rsg/f/rsg_l2_05p04.html). En conclusion, il apparaît que cette technique offre un bon potentiel d'économie d'énergie pour la production de légumes sous serres mais que sa mise en œuvre nécessite d'être traitée au cas par cas, de façon à s'assurer de la rentabilité de l'investissement.

3.1.3 La cogénération

La mise en place d'une installation de cogénération pourrait se résumer ainsi : « quitte à brûler des combustibles fossiles, autant valoriser cette combustion au maximum ». En effet, les serres consomment de grandes quantités d'énergie fossile dans l'unique but de produire de la chaleur. Parallèlement, la production d'énergie électrique par des centrales thermiques, principalement alimentées par du combustible fossile, génère de grandes quantités de chaleur qui se dissipent dans l'environnement. Le rendement des installations les plus performantes ne dépasse pas les 55 %. L'idée de cogénération consiste donc à « coupler » ces deux opérations. Dès lors, le serriste alimente en combustible fossile, non plus une chaudière mais une turbine qui entraîne un alternateur et produit de l'électricité, ceci tout en récupérant la quasi-totalité des « pertes » thermiques ainsi générées. Dans ce contexte la production d'électricité n'est plus qu'une « conséquence » de la production de chaleur, améliorant la rentabilité économique du système par la revente de l'électricité mais surtout le rendement de l'installation qui peut atteindre 90 % dans les cas les plus favorables. A titre d'exemple, la figure ci-dessous compare le rendement d'une installation de chauffage « classique » pour les serres à une installation de cogénération.

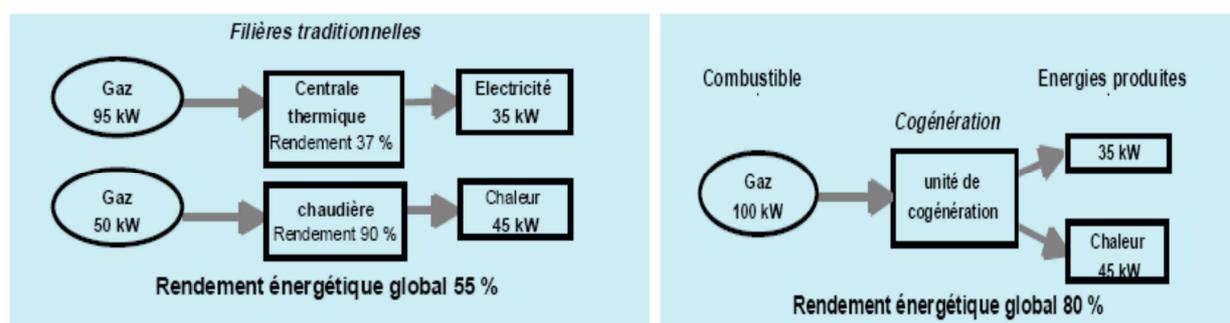


Figure 14 : comparaison de la filière traditionnelle et de la cogénération en production de chaleur (Legrand 2008).

Ce type d'installation nécessite toutefois une mise en œuvre technique relativement lourde puisque c'est tout le système de chauffage qui doit être modifié voire remplacé. De plus, l'investissement initial est très conséquent. Lors de notre visite de terrain dans l'entreprise *Jaquenoud SA*, le propriétaire nous a dit qu'il était vivement intéressé par cette technologie et qu'il avait fait réaliser toutes les études préalables. L'investissement total pour l'achat de la turbine et les travaux d'installation s'élevaient, dans son cas, à 7 millions CHF.

Le problème essentiel pour lequel l'investissement n'a, à ce jour, pas été réalisé tient au fait qu'aucun accord satisfaisant sur le prix de rachat de l'électricité n'a pu être trouvé avec la Romande Energie. L'assurance de pouvoir vendre la production à un prix correct apparaît donc comme étant un élément déterminant dans la mise en œuvre de cette technologie.

3.1.4 Synergies et système de chauffage « basse-température »

Toutes les stratégies développées jusqu'à maintenant impliquent, d'une façon ou d'une autre, que les serristes produisent de l'énergie. Pourtant, de nombreuses activités, essentiellement économiques, produisent déjà de grandes quantités d'énergie qui finissent inéluctablement par être dissipées dans l'environnement. Le concept de synergie ou synergies éco-industrielles (Erkman 2004) traduit donc la volonté de valoriser ces rejets thermiques dans le cadre d'activités différentes de celles pour lesquelles ils ont été « produits ». Dans le contexte de ce travail, cela reviendrait à utiliser les rejets thermiques des activités industrielles pour chauffer les serres maraîchères. Le pouvoir calorifique de ces derniers est généralement assez faible puisqu'il s'agit d'énergie thermique déjà utilisée dans le cadre d'autres activités (entropie élevée). Il est donc nécessaire d'adapter les systèmes de distribution de chaleur dans les serres pour valoriser au maximum ces rejets. C'est à ce niveau que le concept de chauffage « basse-température » entre en scène. Bien entendu, pour que cette démarche soit valable sur le plan technique, il est impératif que les serres se situent relativement près des rejets thermiques. Cette stratégie comporte donc une dimension technique et une dimension spatiale que nous ne traiterons pas ici mais dans le chapitre suivant concernant les aspects spatiaux des stratégies.

Nous l'avons vu, les rejets thermiques industriels ont un pouvoir calorifique relativement faible et il est donc impératif d'adapter le système de distribution de la serre. L'objectif d'un système de chauffage « basse-température » est de localiser l'apport de chaleur au plus près de la culture de façon à diminuer les volumes d'air à chauffer et de limiter les pertes par conduction (les parois) et convection (le toit). Ce système ne peut pas se substituer entièrement à une installation de chauffage classique et ceci en regard du potentiel de rupture de l'approvisionnement. Il représente donc un moyen de limiter la consommation d'énergie fossile en permettant de substantielles économies : 40 à 80 % de la consommation annuelle suivant le type de production et les pratiques culturales (INNOVAGRO, 2010). Trois méthodes principales existent pour localiser l'apport de chaleur à proximité de la production : le réseau aérien, les tables chauffantes et le réseau enterré. Le réseau aérien est particulièrement bien adapté à la production de tomates, les tubes transportant l'eau « tiède » étant répartis à même les plantes. Les tables chauffantes sont mieux adaptées à la culture de plantes en pots et finalement, le réseau enterré qui est particulièrement efficace pour produire des plantons en pleine terre. En effet, les plantons ont des besoins calorifiques spécifiquement au niveau des racines, avec ce système l'apport est parfaitement ciblé.

Les synergies entre des activités industrielles et agricoles revêtent cependant deux difficultés principales et interdépendantes. Premièrement, valoriser les rejets thermiques industriels implique de relier physiquement une industrie et une serre maraîchère ce qui pourrait poser problème compte tenu de la complexité des réseaux déjà implantés sur le territoire. Sa construction nécessiterait probablement une mise à l'enquête et l'obtention d'un permis de construire.

Deuxièmement, cette stratégie implique une relation entre deux acteurs économiques dont les objectifs sont très différents et qui soulèvent plusieurs questions auxquelles nous n'avons, pour l'instant, pas de réponses : comment assurer la pérennité de la relation entre ces deux acteurs ? Trouveraient-ils des intérêts communs dans ce partenariat ? Comment se répartirait le financement des études préalables nécessaire à l'évaluation de la qualité et de la quantité du flux disponible ? En conclusion, il apparaît que cette solution est tout à fait envisageable sur le plan technique mais nécessite d'être approfondie est discutée d'une part pour évaluer leurs niveaux d'intérêt respectifs, et d'autres part pour les localiser à proximité des activités pour lesquelles une synergie est envisageable. C'est ce dont la partie suivante traitera.

3.2 Aspects spatiaux : Localisation des serres

Nous avons pu apprécier les améliorations techniques qui peuvent permettre de rationaliser la consommation énergétique dans la production maraîchère sous serre. Mais certaines de ces améliorations ne peuvent être mises en place sans considérer les implications spatiales du territoire. La planification du développement territorial d'une région comme la plaine de l'Aire revêt une grande importance dans la recherche de solutions vers une diminution de la consommation énergétique et de ses impacts. Cette partie a pour ambition de décrire les processus d'aménagements les plus révélateurs dans le but de réduire l'impact énergétique de la production maraîchère sous serre.

3.2.1 Regroupement des activités de production sous serres

Un des investissements les plus importants dans l'établissement d'une entité de production sous-serre est l'installation de chauffage. Jusqu'ici, chaque producteur conçoit son entité comme étant indépendante et concurrente des autres producteurs. Un regroupement des producteurs dans des zones attribuées offre des avantages non-négligeables en termes d'impacts sur le sol, le paysage et la consommation énergétique. Au travers de ses zones agricoles spéciales, Genève souhaite mettre en application ce regroupement d'activités. Le plan directeur cantonal émet d'ailleurs les objectifs suivants (GMA 2006 : 6) :

- *éviter la dissémination des constructions et installations pour la production hors-sol sur l'ensemble de la zone agricole, ce qui aurait un impact très négatif sur le paysage ;*
- *favoriser et faciliter à terme le regroupement des installations de production dans les sites prévus à cet effet par la mise en œuvre d'actions et de mesures de coordination adéquates (remaniements fonciers, droits de superficie, assistance technique et financière).*

Cet objectif de regroupement et son application rend possible la mise en place de mutualisation des infrastructures de chauffage. Ainsi, la mise en commun de ces installations permet à la zone d'activité d'atteindre la taille critique nécessaire à l'amortissement d'une installation de cogénération et une valorisation énergétique maximale en produisant simultanément de la chaleur et de l'électricité. Et puisque l'installation est partagée, les coûts de revient et les risques financiers qui y sont associés sont drastiquement réduits. Une situation de ce type aurait peut-être permis à l'exploitation *Jaquenoud SA* de pouvoir investir favorablement dans son projet de cogénération.

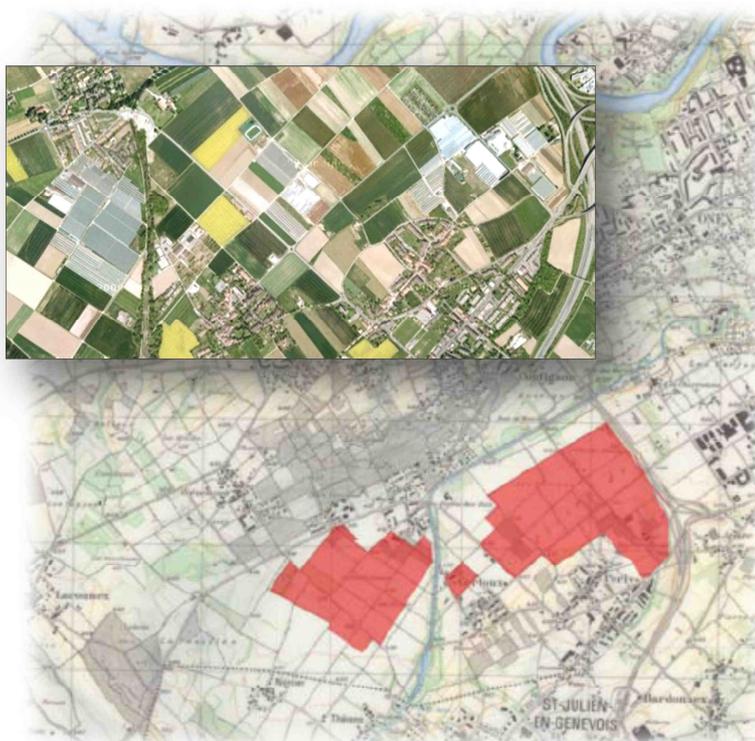


Figure 15 : Répartition de la ZAS de la plaine de l'Aire (GMA 2006 & Google Maps 2010).

Il est évident que les difficultés administratives qui touchent les nouvelles installations sont tout autant partagées entre les partenaires qui y sont associés.

Indirectement, la planification de zones agricoles spéciales permet également de préserver le sol fertile en regroupant les exploitations et en limitant le mitage du territoire par des serres éparées. Les zones devraient donc être planifiées en fonction de la qualité du sol et les terres les plus fertiles exclues de la planification des ZAS. Mais ces zones atteignent néanmoins leurs objectifs si leur étendue est suffisamment importante et qu'elles permettent d'intégrer de multiples producteurs. Le prochain objectif sera alors peut-être la suppression des zones trop réduites qui ne pourront pas atteindre la taille critique nécessaire à la rentabilisation d'infrastructures d'échange coûteuses.

3.2.2 Proximité d'autres activités urbaines

Les autres activités du territoire urbain peuvent aussi jouer un rôle non-négligeable dans la rationalisation énergétique de la production maraîchère. Nous retiendrons ici deux avantages principaux, d'abord en termes d'opportunités potentielles d'échanges de chaleur et d'énergie, ensuite en termes d'amélioration logistique.

En premier lieu, la proximité d'autres activités peut encourager la récupération et la valorisation des rejets de chaleur. Si nous considérons que le système de production maraîchère d'une unité est déjà rationalisé à son maximum, des efforts considérables peuvent par exemple être entrepris dans la localisation de cette unité et sa capacité à récupérer les rejets de chaleur d'une activité industrielle proche. Ainsi, l'intégration des zones de productions agro-industrielles à proximité d'industries ou

même d'habitats présenterait de nombreux avantages en termes de récupération et d'échange d'énergie. Effectivement, « *la localisation [de ces zones de production] trouverait plus de pertinence à proximité d'une zone industrielle où elles pourraient profiter de certaines infrastructures, comme se connecter aux systèmes de récupération de chaleur* » (Etat de Genève 2005 : 104). Ce cas semble être une alternative tout à fait envisageable dans le cas de la Zone Agricole Spéciale de la Plaine de l'Aire qui se trouve à proximité immédiate de la zone industrielle de Plan les Ouates (Figure 16).

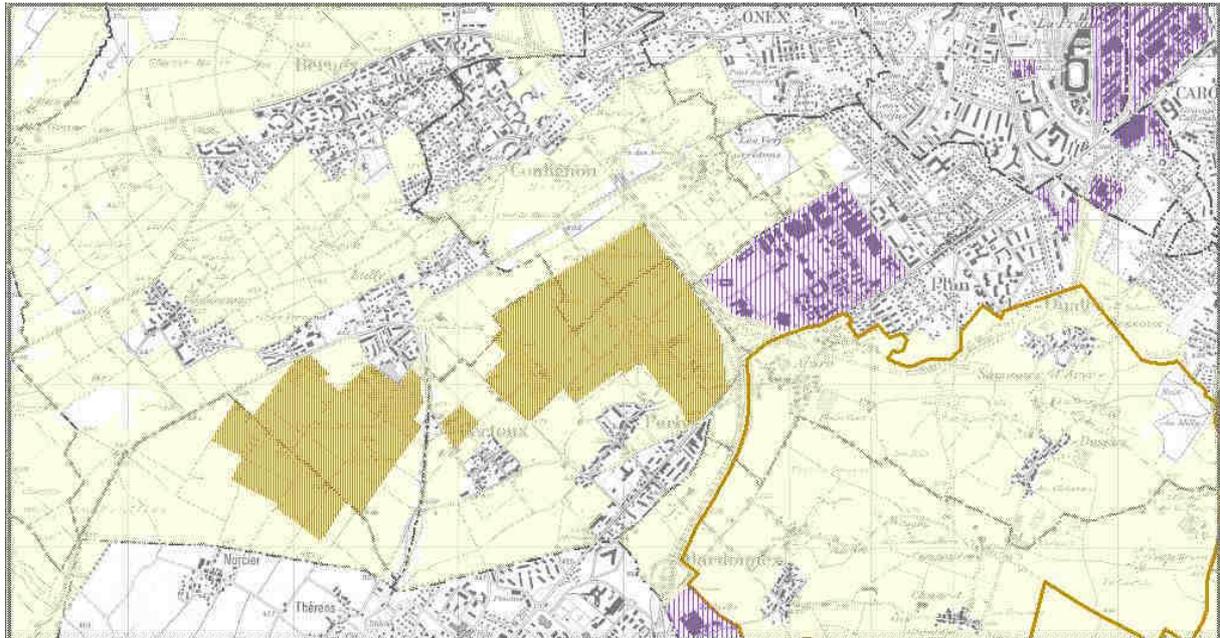


Figure 16 : Proximité des ZAS (marron) de la Plaine de l'Aire et de la ZI (violet) de Plan les Ouates (Etat de Genève 2005).

Ce type d'échange est finalement représentatif de la mise en œuvre de synergies éco-industrielles, mais il est par ailleurs pleinement adaptable à des zones d'habitation. La proximité des habitats profiterait aux producteurs maraîchers dans la mesure où leurs installations de chauffage des serres peuvent être partagées et mutualisées avec les bâtiments d'habitation. De la même manière que dans le cas des regroupements de production, les différents acteurs en jeu peuvent entrevoir une réduction substantielle des prix de revient. La planification, dans les zones agricoles, d'habitats a précisément été un sujet de réflexion dans l'élaboration du schéma directeur cantonal (Etat de Genève 2005 : 105).

Il s'agit dans ce cas des habitats réservés en particulier aux ouvriers agricoles et autres employés des exploitations. Mais cette alternative de proximité des habitats est peut-être à considérer dans un contexte beaucoup plus large que le simple échange de chaleur ou d'énergie. Prévoir les zones de production agricoles à proximité des consommateurs peut également intégrer une composante de réduction énergétique en lien avec la logistique et la distribution des produits alimentaires.

Les denrées devront en priorité être attribuées aux habitants voisins, voire à ceux de la région concernée. L'organisation du territoire sera dès lors planifiée de telle sorte que l'ensemble des exploitations soient réparties équitablement sur le territoire habité, ceci dans l'objectif de réduire au maximum la distance entre lieu de production et lieu de consommation. Ce réseau peut être représentatif d'une forme d'indépendance alimentaire pour une région donnée : en fonction du bassin de population installée dans un territoire, un nombre d'exploitations maraîchères est défini

pour ce même territoire et installées sur les parcelles disponibles telles que les friches urbaines. La localisation des implantations pourrait prendre exemple sur les réseaux mis en place par la grande distribution du secteur de l'alimentaire.

Au travers de cette organisation en réseau, des économies d'énergie considérables peuvent donc être réalisées en favorisant d'une part la valorisation des rejets de chaleur, et en réduisant d'autre part les distances de distribution des produits. Cette proposition est représentative d'une profonde mixité fonctionnelle du territoire, concept relevé dans les préceptes du développement urbain. Organiser le territoire en intégrant de multiples activités est donc souhaitable et souhaité et les politiques actuelles d'aménagement encouragent d'ailleurs cette pratique. Malheureusement, une mixité des activités urbaines dans une même zone semble impossible en raison des contraintes légales imposées par la LAT⁸ et son ordonnance. Les zones de production agricoles doivent effectivement être distinguées des zones urbanisées. La mise en application de ce type d'organisation nécessiterait une modification de la législation fédérale.

3.2.3 *Densification*

L'intégration des activités peut également être envisagée du point de vue de la densification. La superposition d'activités urbaines a ce double avantage de favoriser les échanges de chaleur, mais également de protéger la ressource sol. Selon l'OAT⁹, la production agricole que nous traitons ici est dite « indépendante du sol » ce qui veut dire qu'elle n'a aucun besoin de terres fertiles pour ses activités. Pourtant, les serres se trouvent actuellement là où il existait à l'origine une production qui exploitait pleinement les ressources d'une terre fertile. Le développement de certaines exploitations a finalement eu raison de ce type de production et exploite dorénavant le sol uniquement comme surface constructible. Si l'on considère le sol comme une ressource alimentaire aussi importante que l'eau, il est primordial de préserver au mieux son intégrité, et la densification est une alternative.

Mais notre thématique se limite à la rationalisation énergétique, et aménager une mixité maximum au travers de la densification et de la superposition d'activités urbaines diverses permettrait d'augmenter cette rationalisation. Les politiques genevoises en charge de l'aménagement en émettent justement l'idée concernant les exploitations de serres : « *On pourrait imaginer rationaliser différemment cette production agroindustrielle en superposant les éléments plutôt qu'en les juxtaposant* » (Etat de Genève 2005 : 104). Superposer des serres est-il envisageable ? L'idée est intéressante, mais pratiquement, les infrastructures atteignent déjà une hauteur de six mètres et certains exploitants se sont vus refuser la construction de nouvelles serres plus hautes en raison des dangers liés à la proximité d'une ligne à haute tension. D'autre part, l'emprise de l'activité sur le sol n'est pas réellement améliorée et d'autres terres fertiles pourraient disparaître.

L'alternative qui nous semble la plus efficace dans le sens de nos objectifs premiers est aussi plus radicale. Les seuls éléments naturels dont la production hors-sol a besoin se limitent à l'ensoleillement et à l'air. En sachant que ces types d'exploitations ne dépendent pas de la terre et

⁸ Loi fédérale sur l'aménagement du territoire, en particulier avec l'art. 6 LAT.

⁹ Ordonnance fédérale sur l'aménagement du territoire, art. 38 OAT.

que nous cherchons ici à densifier l'ensemble des activités urbaines, il nous semble possible d'envisager une production « sur la ville », c'est-à-dire une production qui exploite les espaces disponibles au-dessus des bâtiments et sur les toits. Ces endroits permettraient de profiter d'un ensoleillement maximum, d'une qualité de l'air relativement bonne (les polluants urbains sont à proximité du sol) et de multiples potentialités de synergies énergétiques, tout ceci en préservant des surfaces fertiles pour d'autres activités.

Ce concept présente d'autres avantages annexes dont peuvent profiter les habitants des immeubles sous-jacent. Ces « jardins suspendus » peuvent incontestablement créer de nouveaux espaces verts et offrir un cadre de vie et un lieu de repos idéal lorsque les activités de production ne sont pas actives. De plus, une végétation au sommet des bâtiments permet de tempérer les lieux de vie en créant une isolation thermique autant efficace l'été que l'hiver.



Figure 17 : Serres sur les toits d'immeubles au Japon et visions d'artistes pour un projet de stade végétalisé et d'une ferme verticale. (blog.savates.org, Jacques Ferrier Architectures & The Vertical Farm Project 2009).

La Figure 17 ci-dessus présente quelques exemples de densification urbaine d'activités agricoles. Le Japon est un pays précurseur en la matière puisque qu'il est fréquent d'y rencontrer de petites exploitations maraîchères au milieu des centres urbains. C'est dans ce contexte que des serres sont quelquefois installées sur les toits des immeubles. Mais il est vrai que les activités qui y sont liées remplissent avant tout une fonction de loisirs et de jardinage plutôt que de production économique. Cependant, ce mode de vie est représentatif d'une évolution vers laquelle une production agricole efficace peut s'orienter.

De multiples projets, qu'ils soient utopistes ou déjà bien aboutis, tentent d'intégrer à la ville la valeur naturelle des jardins et autres productions agricoles. On cherche à exploiter au maximum les espaces dégagés qu'offrent les toits de grosses infrastructures (stade, centre-commerciaux, immeubles, etc.) en créant de gigantesques jardins suspendus multifonctionnels : loisirs, production, dépollution. A

beaucoup plus long terme, on imagine également de grandes tours dédiées exclusivement à la production agricole maraîchère ou mêmes animales localisées au centre des métropoles. Ces « fermes verticales » ont pour ambition de satisfaire aux besoins alimentaires de la population locale tout en rationalisant la distribution et la production des denrées.

L'ensemble de ces arguments et exemples dévoilent la densification comme une alternative intéressante à la rationalisation de la consommation énergétique et à une réelle intégration de l'agriculture, et du maraîchage en particulier, dans les activités urbaines. Néanmoins, ce type de production fait appelle à bien d'autres compétences techniques qui sortent du champ des activités agricoles et qui ne seront peut-être pas abouties à court terme. La législation suisse en la matière (entre autres, la LAT) rend aussi difficile voire impossible l'intégration d'activités urbaines de types différents dans une zone planifiée.

3.2.4 Proximité des sources énergétiques

Un des équipements nécessaires à l'exploitation des serres agricoles est le raccordement à une source d'énergie électrique ou thermique, en l'occurrence principalement représentée à Genève par le réseau de gaz (GMA 2006 : 9). La proximité d'un tel réseau énergétique est donc déjà prise en compte dans l'établissement d'une exploitation. Par contre, dans l'objectif de réduire l'impact environnemental de sa production de chaleur, il est envisageable de mieux considérer la proximité du réseau de chauffage à distance par incinération des ordures ménagères (CADIOM), alimenté par l'usine des Chenevriers et actuellement en extension. Ce réseau dessert déjà passablement de quartiers, dont l'un n'est pas si éloigné de la Plaine de l'Aire. Il serait donc approprié de planifier la prochaine extension du réseau vers les ZAS ou dans la logique inverse, de planifier les prochaines ZAS à proximité du réseau existant.

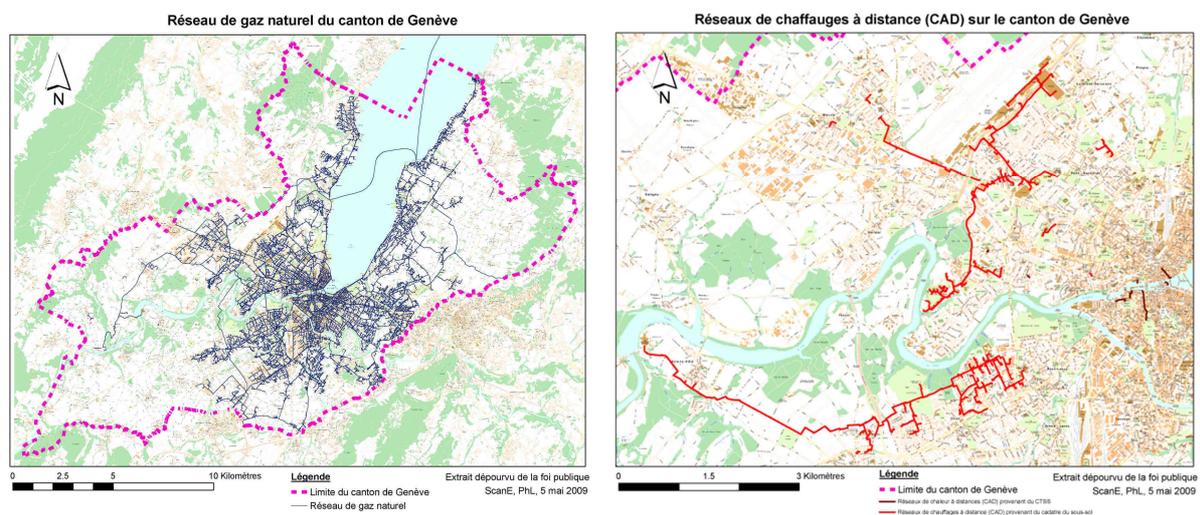


Figure 18 : Etendue des réseaux de gaz naturel et de chauffage à distance de Genève (Beck 2010).

Néanmoins, la difficulté technique d'un thermo réseau réside dans sa capacité à intégrer des activités grandes consommatrices d'énergie telles que la production maraîchère sous serres. Une consommation énergétique trop importante réduit le gradient thermique du réseau et sa capacité à distribuer la chaleur à d'autres usagers. D'autres sources énergétiques doivent dès lors être

prospectées. Comme déjà énoncé dans le chapitre portant sur les améliorations techniques, la géothermie et les pompes à chaleur sont de bonnes opportunités pour exploiter les sources de chaleur locales et naturelles, à condition bien entendu de connaître leur situation dans le territoire. Les conditions géologiques sont un des facteurs qui influencent la possibilité d'exploiter la géothermie, mais les connaissances sur le sous-sol genevois sont actuellement acquises et il est possible de déterminer les zones favorables à l'installation de pompes à chaleur en fonction de la profondeur des couches géologiques (Figure 19).

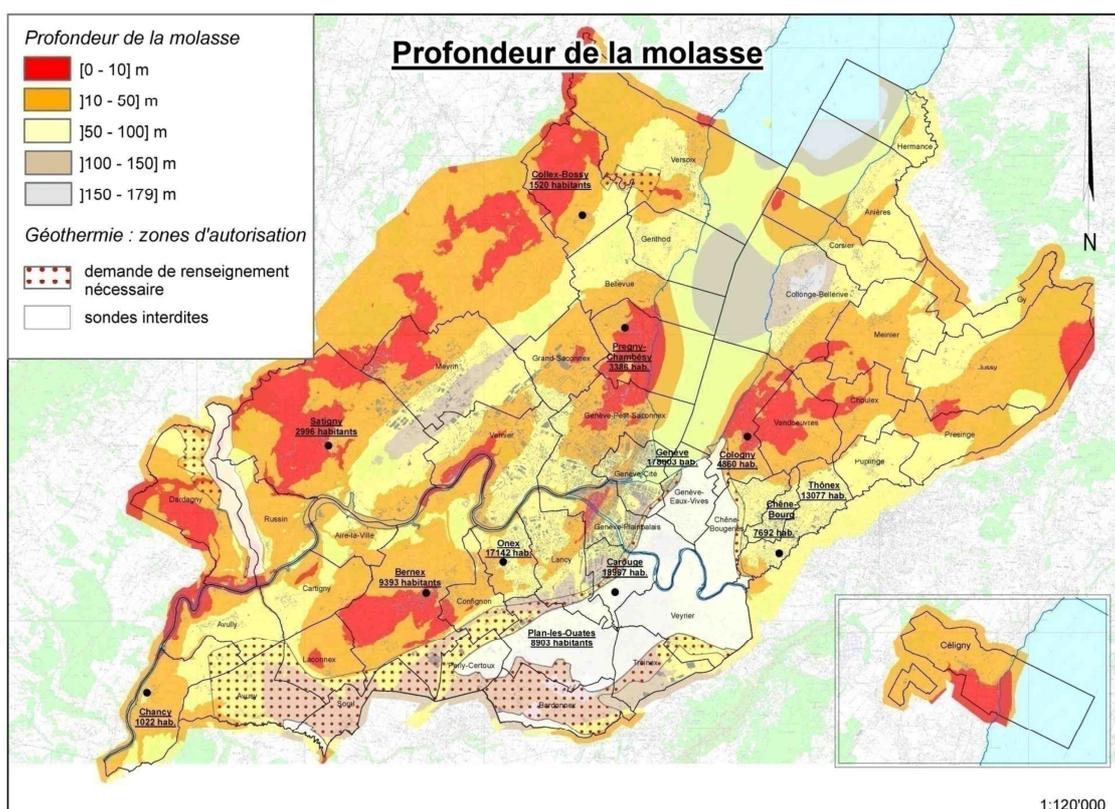


Figure 19 : Profondeur de molasse du territoire genevois, paramètre essentiel à la production géothermique (Deriaz 2009).

Plusieurs zones du territoire genevois sont interdites pour l'implantation de sondes géothermiques en raison de la présence d'une nappe géologique inadéquate à ce type d'installation (SOSI 2010). En ce qui concerne la ZAS de la Plaine de l'Aire, « aucune sonde géothermique profonde ne pourrait être implantée au regard de la présence de la nappe protégée du Genevois. Par contre, une exploitation géothermique de la nappe superficielle de l'Aire pourrait être envisagée » (GMA 2006 : 51). La présence de nappes phréatiques, d'aquifères et de réservoirs naturels d'eau peut effectivement être exploitée dans le but de produire de la chaleur. Le lac est d'ailleurs déjà utilisé à cette fin dans le quartier des organisations internationales.

Dans un objectif de rationalisation énergétique territorial, il est dorénavant nécessaire de pouvoir intégrer ces ressources naturelles locales dans le développement territorial, et ainsi prévoir les activités urbaines telles que le maraîchage dans ces zones potentielles de production géothermique. Le canton de Genève tente de mettre en œuvre cet objectif au travers de son concept énergétique

territorial et de sa loi sur l'énergie (cf. chapitre 2.2.3). Malheureusement, le maraîchage est en compétition avec d'autres activités urbaines qui nécessitent de grandes quantités d'énergie. Aussi, quelles activités auront la priorité pour obtenir l'autorisation de s'installer à proximité d'une source de chaleur locale ? La production agricole est plus qu'une activité économique et remplit également un rôle alimentaire et sanitaire essentielle pour une région. A notre sens, les activités agricoles et le maraîchage en particulier devraient donc être prioriser par rapport aux autres activités économiques.

3.3 Types de productions : cultures adaptées

Toujours dans un objectif de rationalisation énergétique de la production maraîchère, le type de cultures utilisé est aussi un facteur important. La consommation énergétique provient essentiellement du chauffage des serres qui doivent généralement atteindre une moyenne de 20°C pour permettre aux différentes variétés de légumes de pouvoir croître dans de bonnes conditions. Mais certaines variétés ont la capacité de se développer à plus basse température, et il est attendu de substantielles économies en adoptant ces cultures.

Dans la perspective d'une production basse température, la station de recherche fédérale sur l'agriculture (Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Granges 2006) estime qu'il faut rassembler plusieurs conditions modulables. Il est nécessaire d'une part de procéder aux choix de variétés de légumes avec un rapport rendement/consommation énergétique. Les pratiques d'exploitation doivent aussi être adaptées. Les plantes n'ont pas besoin d'un régime thermique équivalent pendant l'entier de leur développement, et il faut donc prévoir de réguler la température selon le stade de croissance dans la perspective d'une économie d'énergie. Ce type de chauffage est appelé régime de chauffage avec intégration des températures. « *Le principe de l'intégration des températures (IT) repose sur la capacité des plantes à se développer à des températures inférieures à l'optimum de nuit et supérieures à l'optimum de jour tant que la moyenne des températures sur un intervalle donné reste inchangée* » (Granges 2006 : 37).

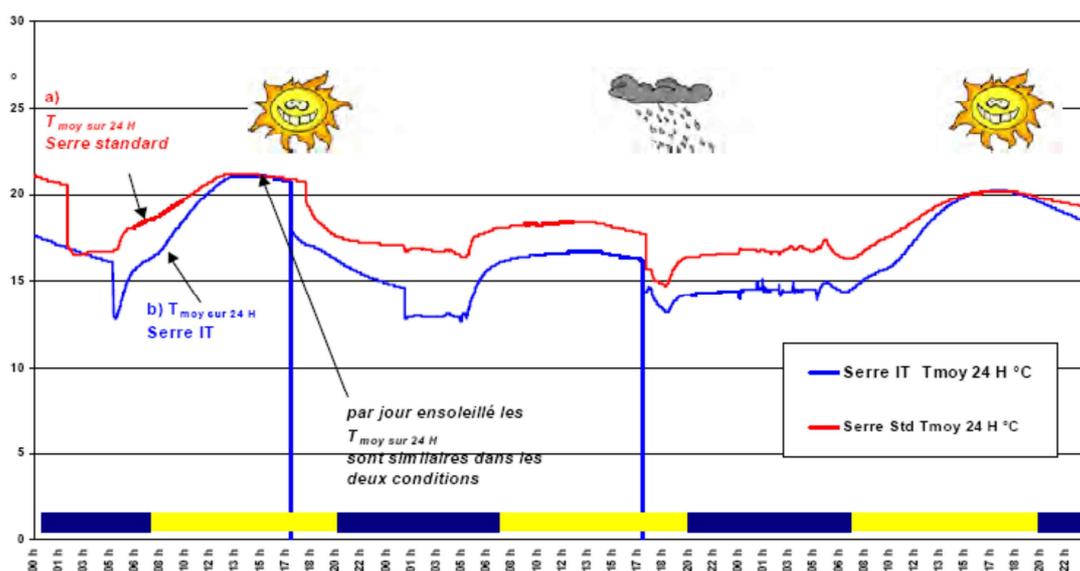


Figure 20 : Variation de températures des serres pour une production standard (rouge) et une production IT (bleu) (Granges 2006).

Les études ont montré qu'une production IT n'a pas d'influence négative sur la croissance de la plante et permet d'économiser 20% d'énergie. Les recommandations mettent en particulier l'accent sur la préférence à accorder aux plantes plus robustes qui supportent des changements de température plus importants que dans un système traditionnel. C'est ainsi le cas d'une variété de tomates à grappes appelée Plaisance et qui a montré la plus grosse productivité dans des conditions de basse température (Granges 2006 : 31). Cette expérience est ainsi à étendre aux autres variétés de légumes pour n'en sélectionner que les plus robustes et les plus adaptés aux climats de nos latitudes.

3.4 Leviers institutionnels et économiques incitatifs

Comme nous venons de le voir au travers de ce chapitre, de nombreuses solutions sont envisageables pour parvenir à distendre le fort lien qui existe entre production maraîchère sous serres et consommation énergétique. Néanmoins, ces stratégies sont toutes relativement lourdes à mettre en œuvre du point de vue technique et économique. La production maraîchère sous serres hors-sol et particulièrement la production de tomates, sont des marchés très concurrentiels où la moindre dépense doit être maîtrisée pour assurer la rentabilité de l'exploitation. De ce fait, compter sur la « bonne volonté » des acteurs de cette production ne sera probablement pas suffisant pour répondre à ce défi énergétique. Il semblerait que d'autres acteurs doivent être impliqués. La diffusion des « bonnes pratiques » et des résultats obtenus avec des technologies innovantes participerait sans doute à modifier les comportements. Des institutions telles que l'Union Maraîchère Genevoise (UMG) ou AgriGenève par exemple, pourraient être de bonnes plateformes de diffusion de l'information et de conseils. Elles permettraient aux producteurs d'être informés sur l'évolution des technologies et sur la faisabilité de leur mise en œuvre dans le contexte genevois.

D'un autre côté, il est aussi essentiel que l'Etat de Genève soit impliqué dans ces stratégies. Dans le cadre de la politique énergétique genevoise, l'Etat pourrait par exemple mettre en place une sorte de standard de type *MINERGIE*, non contraignant, qui subventionnerait la mise en œuvre de stratégies permettant d'atteindre des seuils fixés sur la base d'un indice d'« efficacité énergétique ». Cette efficacité énergétique se définirait comme le rapport entre l'énergie fossile totale consommée dans l'exploitation sur une année et la quantité de calories produites sur la récolte de cette même année, corrigé par un coefficient propre à la culture, puisqu'une unité d'énergie fossile permet de produire plus ou moins de calorie végétale en fonction du type de culture (tomate, concombre, etc.). Cet indice devrait encore être corrigé pour tenir compte des fluctuations climatiques annuelles puisque, pour un même type de culture, la durée de la saison froide influencera la consommation énergétique annuelle.

L'Etat a aussi probablement un rôle à jouer au niveau de l'aménagement du territoire. Une modification de la législation est effectivement nécessaire dans la mesure où la multifonctionnalité d'une zone est tout simplement impossible. Nos alternatives revêtent de beaucoup d'intégration entre les activités urbaines voire de densification et de verticalisation, cependant la loi sur l'aménagement du territoire (LAT) ne le permet pas. Il est dès lors à prévoir une révision de la loi dans un contexte de rationalisation énergétique et de proximité fonctionnelle. Une prochaine révision de la LAT est justement en consultation. Il faut espérer que les politiques considèrent ce point.

Bien évidemment, il ne s'agit là que de réflexions prospectives et les quelques leviers évoqués ci-dessus ne sont de loin pas exhaustifs, l'objectif étant ici de simplement souligner que la question énergétique de la production de légumes sous serres implique une réflexion globale et concertée de tous les acteurs impliqués, qu'il soient issus des secteur privé ou publics.

4. Scénarios envisageables

Au travers de ce travail nous avons vu différentes stratégies spatiales et/ou technologiques permettant de réduire la consommation énergétique fossile de la production maraîchère genevoise. L'objectif de ce chapitre est donc d'analyser comment et sous quelle forme ces stratégies pourraient être mises en œuvre dans la structure productive genevoise. Pour ce faire, nous avons choisi d'établir trois scénarios « théoriques » (Figure 21) dont deux nous semblent être réalistes à court et moyen terme et un scénario « idéaliste » qui nécessiterait une refonte complète du système actuel et qui, de ce fait, n'a que peu de chance de rapidement voir le jour. Nous décrivons ci-dessous l'échelle de perception ainsi que les caractéristiques des trois scénarios proposés, avant de les comparer au travers d'une analyse multicritères dans le chapitre suivant.

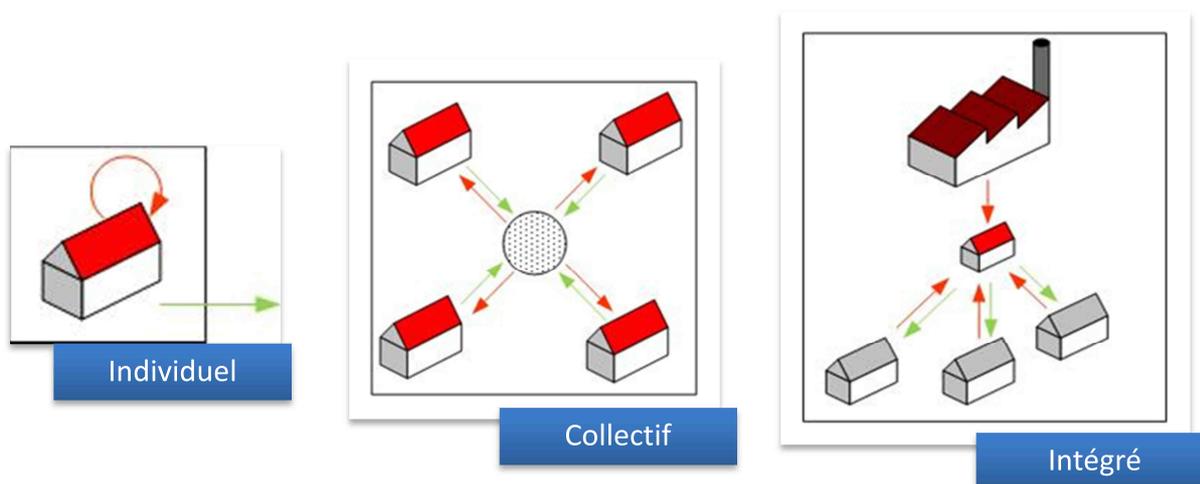


Figure 21 : Les trois scénarios de production maraîchère proposés.

4.1 Scénario « individuel »

Ce scénario représente le cas selon lequel l'organisation actuelle de la production reste inchangée. Les exploitations de maraîchage représentent une activité périurbaine et indépendante de l'agglomération. Chaque producteur produit de manière individuelle dans son exploitation. Le producteur dispose d'une serre très performante et met en œuvre les technologies disponibles pour maximiser ses performances énergétiques au niveau de son exploitation et en fonction de ses ressources financières personnelles. Le mode de distribution de la production reste inchangé, c'est-à-dire que les produits sont centralisés au niveau national puis redistribués vers les différentes régions de consommation.

4.2 Scénario « collectif »

Ce scénario représente toujours le cas d'un maraîchage périurbain, mais cette fois-ci mutualisé. Les producteurs sont regroupés sur un même espace, les Zones Agricoles Spéciales, et mutualisent l'approvisionnement en chaleur en investissant collectivement dans une technologie « propre » et efficiente de leur choix. De plus, ils organisent ensemble un système de distribution alternatif de leur production de façon à réduire les distances parcourues entre le lieu de production et le lieu de consommation. Le système traditionnel de logistique organisé par les grands distributeurs nationaux est de ce fait court-circuité pour augmenter l'efficacité d'une distribution locale.

4.3 Scénario « intégré »

Ce scénario est plus ambitieux et se traduit par une production urbaine et intégrée. Il s'agirait d'une production maraîchère localisée à proximité d'activités qui émettent un surplus d'énergie thermique. Il peut s'agir d'industries, d'habitats ou d'infrastructures d'entretien comme les usines d'incinération des ordures ménagères (UIOM) ou les stations d'épuration (STEP). Les besoins énergétiques seraient assurés par la valorisation des rejets thermiques de la ville au travers de l'agencement de synergies et d'échanges de chaleur. La production ne serait plus concentrée mais répartie sur l'ensemble du territoire, assurée par de petites unités productives dont la production serait destinée avant tout au marché local. Les zones de productions seraient développées en fonction de l'évolution démographique locale et des besoins de la population.

5. Analyse multicritères

L'analyse multi-critères a pour objectif de fournir une aide à la décision en comparant plusieurs projets de mise en œuvre. Dans ce travail, plusieurs scénarios ont été proposés et nous abordons désormais la comparaison et la faisabilité de ceux-ci au travers d'une analyse multi-critères. Nos scénarios, que nous appelons ici « projets », seront rapidement testés au travers d'analyses de dominance et de standardisation succinctes selon des critères intégrant des enjeux économiques, environnementaux et prenant en compte leur applicabilité dans le contexte genevois. Les limites de ce travail ne permettent pas de considérer les critères d'un point de vue quantitatif pour l'ensemble du système analysé (production maraîchère sous serres hors sol de la plaine de l'Aire) et ils ne pourront donc qu'être estimés qualitativement. Des critères qualitatifs peuvent néanmoins révéler quelques tendances auxquelles il est légitime de s'attendre dans la mise en œuvre de nos scénarios. Le tableau ci-dessous rapporte les différents scénarios établis dans le chapitre précédent et pris en compte dans cette analyse.

Tableau 0 : Scénarios considérés

Projet A	individuel : efficacité technique, distribution classique
Projet B	mutualiste : infrastructures et distribution collectives
Projet C	intégré : valorisation thermique, distribution locale

5.1 Critères d'évaluation

Les projets seront testés selon sept critères de jugement qui révèle le contexte économique, environnemental et législatif des scénarios.

En premier lieu, nous nous attachons à évaluer *l'investissement initial*. Cet investissement représente le montant à investir dans la construction d'infrastructures supplémentaires, nécessaires à la mise en œuvre des projets. Il peut s'agir par exemple d'une chaudière plus performante ou d'un cogénérateur avec diffusion de chaleur.

Le *temps d'amortissement* indique la rentabilité à court, moyen ou long terme de l'investissement effectué. Il est évalué en fonction du nombre d'années nécessaires à la rentabilisation des installations ou d'autres dépenses qui touchent à l'élaboration d'un des projets.

La collaboration avec les partenaires potentiels est évaluée au travers du critère *Echecs de collaboration*. Ce critère considère les difficultés potentielles d'une collaboration négociée entre des acteurs aux intérêts multiples, voire contraires. On peut par exemple s'attendre à un risque prononcé d'échec de collaboration lorsque de nombreux acteurs sont concernés par la mise en œuvre d'un projet. Afin de permettre une cohérence avec les échelles des autres critères, il est nécessaire de décrire cet indicateur de manière négative. Ainsi, une valeur quantitative élevée attribuée au critère considéré indique que le projet de collaboration a de grandes chances d'échouer.

L'*éloignement du marché* qualifie la distance entre le lieu de production et le lieu de vente. Un projet qui permet de réduire significativement la distance entre l'exploitation maraîchère et sa clientèle est alors noté positivement.

L'*impact sur le paysage* est aussi évalué selon les modifications perceptibles du paysage que le projet engendre. Il peut par exemple s'agir du gabarit des installations et de leur répartition sur le territoire. Les *contraintes législatives* considèrent les difficultés de mise en œuvre des projets face aux lois et ordonnances fédérales ou cantonales. La localisation d'activités agricoles dans des zones attribuées à l'habitat ou aux activités industrielles peut par exemple être légalement impossible. Ce volet intègre également l'existence ou non de subventions ou de facilités administratives à la réalisation du projet. Finalement, l'intégration de différents types d'activités dans l'agglomération est appréciée au travers du critère *rupture urbaine* attendue entre la ville et l'exploitation. Qu'elles soient de types agricoles, industrielles, commerciales, ou résidentielles, la multiplicité et l'échange entre les activités urbaines qu'un projet peut favoriser est évalué positivement.

Ces variables précédemment décrites sont ensuite examinées pour chacun des projets proposés selon une échelle à cinq niveaux de très faible à très élevé (Tableau 1). Un niveau faible des critères représente un aspect positif, alors qu'un niveau élevé représente un aspect négatif. Afin de pouvoir compléter l'analyse, il est à présent nécessaire de transformer les critères qualitatifs en critères quantitatifs, très faible étant équivalent à 1 et très élevé à 5 (Tableau 2).

Tableau 1 : Matrice initiale

Critères	Projet A	Projet B	Projet C
Investissement initial	moyen	faible	très élevé
Temps d'amortissement	élevé	faible	moyen
Echecs de collaboration	très faible	moyen	très élevé
Eloignement du marché	élevé	moyen	très faible
Impact paysager	élevé	moyen	très faible
Contrainte législative	très faible	faible	très élevé
Rupture urbaine	élevé	moyen	très faible

Tableau 2 : Transformation des critères qualitatifs

Critères	Projet A	Projet B	Projet C
Investissement initial	3	2	5
Temps d'amortissement	4	2	3
Echecs de collaboration	1	3	5
Eloignement du marché	4	3	1
Impact paysager	4	3	1
Contrainte législative	1	2	5
Rupture urbaine	4	3	1

5.2 Analyse de dominance

L'analyse de dominance attribue un rang de 1 à 3 pour les valeurs de chacun des critères. Le meilleur rang est attribué à la valeur la plus avantageuse et le total des rangs indique la place des projets en rapport aux autres (Tableau 3).

L'analyse de dominance montre que le projet A est le moins intéressant. Malgré tout, ce projet reste le plus attrayant pour deux des critères établis. Le projet C est plus intéressant et se place cette fois en tête pour trois de ses critères. Malgré tout le projet B est clairement le projet le plus attrayant par rangs attribués, car aucun de ses critères n'est le plus mauvais.

Tableau 3 : Dominance

Critères	Projet A	Projet B	Projet C
Investissement initial	2	1	3
Temps d'amortissement	3	1	2
Echecs de collaboration	1	2	3
Eloignement du marché	3	2	1
Impact paysager	3	2	1
Contrainte législative	1	2	3
Rupture urbaine	3	2	1
Total des rangs	16	12	14

5.3 Standardisation

L'objectif de cette partie est de standardiser les critères selon une méthode de standardisation unique qui révèle les écarts entre les valeurs (Tableau 4). La standardisation montre des écarts moins importants que prévu entre le projet A et C, mais le projet B se démarque clairement. La standardisation confirme donc les observations obtenues lors de l'analyse de dominance et révèle le projet B comme le plus attrayant.

Tableau 4 : Standardisation 1 [$0 < X_i < 1$]

Critères	Projet A	Projet B	Projet C
Investissement initial	0.30	0.20	0.50
Temps d'amortissement	0.44	0.22	0.33
Echecs de collaboration	0.11	0.33	0.56
Eloignement du marché	0.50	0.38	0.13
Impact paysager	0.50	0.38	0.13
Contrainte législative	0.13	0.25	0.63
Rupture urbaine	0.50	0.38	0.13
Total	2.48	2.13	2.39

5.4 Bilan de l'analyse

Ces rapides analyses ont permis de mettre en évidence le projet B comme étant systématiquement le plus intéressant. Une production mutualisée qui rassemble plusieurs exploitations dans le but de pouvoir partager les infrastructures et leur logistique paraît donc être le plus indiqué à mettre en œuvre dans le contexte du maraîchage genevois. Cette alternative est peut contraignante en termes législatifs et économiques et offre de nombreuses perspectives de réduction de la consommation énergétique.

Néanmoins, afin de confirmer la robustesse des résultats de ce scénario, il conviendrait de compléter l'étude par d'autres analyses, en particulier par plusieurs types de standardisation et par une pondération des critères choisis. Il serait également nécessaire de quantifier quelques variables directement au travers de la réalité genevoise, sans l'utilisation systématique de jugements qualitatifs. C'est uniquement sous ces conditions que l'analyse pourra être jugée pertinente et fiable.

6. Conclusions

Ce travail nous a permis d'identifier les principaux enjeux énergétiques inhérents à la production agricole maraîchère du canton de Genève et de proposer quelques alternatives de rationalisation énergétique efficaces pour une production singulière sous serres et hors-sol. Dans un objectif de diminution de la consommation énergétique et de réduction des impacts environnementaux, nous avons pu mettre en évidence de multiples solutions techniques tout-à-fait applicables dans ce contexte agricole, qu'il s'agisse d'infrastructures de production plus efficaces ou d'échanges énergétiques intra ou interexploitations. D'autre part, nous avons également pu relever l'importance de prendre en considération la planification territoriale et l'action politique dans la gestion énergétique. Beaucoup des aspects techniques ne sont applicables que dans des conditions que seule l'action publique peut offrir. Promouvoir et planifier les activités agricoles à proximité des villes s'avère être une démarche centrale dans la perspective d'un développement maîtrisé et durable du maraîchage.

6.1 La proximité comme valeur ajoutée

La proximité de la ville offre effectivement de nombreux avantages dont la production maraîchère peut allègrement profiter. Nous l'avons vu, la ville recèle de multiples sources thermiques valorisables dans la production maraîchère. Par ailleurs la faible distance entre les exploitations et les lieux de vie est avantageuse d'un point de vue logistique, et permet un rapprochement entre producteurs et consommateurs, composante essentielle à la reconnaissance des activités de maraîchage dans le paysage économique et social. Au travers des différents exemples qui ont été avancés dans ce travail, la proximité urbaine s'affirme comme étant une caractéristique essentielle avec laquelle il est nécessaire de composer pour espérer transformer et faire évoluer la production agricole vers une activité dont les impacts environnementaux sont réduits.

Grâce à cette nouvelle intégration urbaine, et au contraire de l'agriculture actuellement péri-urbaine, on peut de ce fait espérer créer de multiples liens et interactions entre la production agricole et les activités urbaines les plus diverses. Ce n'est que dans ces conditions que l'agriculture genevoise pourra être réellement considérée comme une agriculture urbaine.

6.2 Production locale et développement régional

La production genevoise a donc tout intérêt à se destiner au marché local. La préservation d'une activité agricole locale offre des garanties alimentaires et sociales qu'il ne faut pas négliger. C'est pourquoi la production devrait prioritairement être attribuée aux consommateurs locaux. Mais quel mode de production est le plus adapté à ce constat ?

Un mode de production intensif tel que celle pratiquée sous serre et indépendante du sol n'exclue pas une production locale. Bien au contraire, elle sera peut-être nécessaire dans la mesure où la tendance est actuellement d'assurer aux territoires une sécurité alimentaire. La disponibilité de l'ensemble des denrées agricoles n'est de loin pas assurée en Suisse, car les terres fertiles y sont

limitées et tendent inexorablement à se réduire aux profits des infrastructures urbaines. Afin de subvenir aux besoins de la population, il sera donc nécessaire de prévoir une densification et une intensification de la production. Toujours dans un objectif de disponibilité alimentaire local, les pouvoirs publics se verront dans l'obligation de prévoir le développement territorial en fonction des ressources alimentaires disponibles localement. Un quartier résidentiel ne devrait plus pouvoir être planifié sans s'être assuré au préalable de la capacité alimentaire de la région à supporter l'arrivée de nouveaux habitants. De nouveaux outils de diagnostic devront donc être élaborés, à l'image du concept énergétique territorial genevois intégré dans la nouvelle loi cantonale sur l'énergie.

6.3 Et les consommateurs... ?

Dans toutes problématiques alimentaires, le rôle du consommateur est central. Les lieux d'achat, le type de denrées alimentaires disponibles ou encore la façon dont ils sont produits sont autant de paramètres qui importent au regard d'un consommateur attentif à son alimentation. Ses modes de consommation sont en permanence étudiés par les professionnels du marché de l'alimentaire qui identifient ses habitudes et adaptent l'offre de produits. En ce sens, le consommateur, par ses choix, a le pouvoir d'influer fortement sur l'évolution des marchés et la production alimentaire.

Cette forme de pouvoir revêt toute son importance dans la perspectives d'une rationalisation énergétique de la production agricole. Il est essentiel d'intégrer le consommateur dans les réflexions qui touche à une modification de la production agricole et qui le concerne finalement directement. Les moyens à mobiliser sont en premier lieu une information étendue de la façon dont les produits consommés sont fabriqués, de la terre à l'assiette. Par ailleurs, la participation des consommateurs comme acteurs à part entière dans les processus de négociation et de décision en lien avec l'agriculture n'est pas non plus à omettre.

Les consommateurs doivent dorénavant avoir conscience du rôle essentiel qu'ils peuvent jouer. L'agriculture est à la base de notre existence, et chaque citoyen devrait être en mesure de comprendre et d'agir dans son intérêt. C'est pourquoi une production agricole respectueuse de l'environnement et qui garantie l'approvisionnement d'aliments sains doit à tout prix être encouragée par chacun de nous. C'est uniquement à ce titre que nous pourrions définitivement devenir ce que l'on appelle aujourd'hui des « consomm'acteurs » engagés.

Bibliographie

- ADEME (2007). *Utilisation rationnelle de l'énergie dans les serres : situation technico-économique et leviers d'action actuels et futurs*. Angers : Auteurs.
- ADEME et CTIFL (2007). *Application du stockage thermique en aquifère aux serres maraîchères françaises : étude de préfaisabilité*. Angers : Auteurs.
- Beck, R. (2010). *Une politique énergétique efficace entre offre et demande. Vers la planification territoriale*. Présentation du Service de l'énergie du canton de Genève, cours Ecologie Industrielle II, Université de Lausanne (3.03.2010).
- Berret, F. et Praz, P. (2004). *Le concept de développement interne est-il applicable aux cultures maraîchères ?* Service Romand de Vulgarisation Agricole.
- Beuchat (2010). *L'agriculture dans le projet d'agglomération*. Présentation dans le cadre du cours *Politiques territoriales intégrées*, UNIL, 12 avril 2010.
- CRFG (Comité régional franco-genevois) (2007). *Projet d'agglomération franco-valdo-genevois. Cahier annexe n°3 - Le Schéma d'agglomération et ses mesures*. Genève : Auteur. www.projet-agglo.org (consulté mai 2010).
- Deriaz C. (2009). *Potentialité de la géothermie dans le canton de Genève*. Présentation lors de la Journée genevoise de la géothermie, Musée d'histoire naturelle, Genève.
http://etat.geneve.ch/dt/SilverpeasWebFileServer/03_DERIAZ_JGG09.pdf?ComponentId=kmelia197&SourceFile=1253172566325.pdf&MimeType=application/pdf&Directory=Attachment/Images/ (consulté mai 2010).
- Erkman, S. (2004). *Vers une écologie industrielle*. Paris : Editions Charles-Léopold Mayer.
- Etat de Genève (2005). *Onzième compte rendu de la Commission d'urbanisme. Chapitre 7 - Aménager les zones agricoles spéciales*. Genève : Auteur.
- Etat de Genève (2006). Carte interactive du plan directeur cantonal.
http://etat.geneve.ch/dt/amenagement/carte_interactive-686-2913.html (consulté mai 2010).
- Fabien, P. et al. (2007). *Utilisation rationnelle de l'énergie dans les serres : situation technico-économique en 2005 et leviers d'actions actuels et futurs*, CTIFL pour le compte de l'ADEME
- Faessler, J. et Lachal, B. (2008). *Projet VIRAGE, Rapport R3 : Agriculture et Energie : Méthodologies pour un métabolisme agricole franco-valdo-genevois : le point de la situation*. Genève : Service de l'agriculture, Département du territoire, Etat de Genève.
- Fleury A., Donadieu P. (1997). *De l'agriculture péri-urbaine à l'agriculture urbaine*, in *Courrier de l'environnement de l'INRA*, n°31, p.45-61.

- GMA (2006). *Etude d'aménagement. Secteurs Maraîchers de la plaine de l'Aire et de la plaine de Veyrier-Troinex. Rapport d'étude*. Genève : Direction de l'aménagement du territoire de l'Etat de Genève.
- Granges, A. (2006). Influence d'un régime de chauffage IT (Intégration des températures) sur la croissance, le rendement et la qualité des tomates en serre. In : *Rapport d'activité 2006. Cultures sous serres et maraîchères*. Conthey : Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW.
- Grisey A. et al. (2007). *Utilisation rationnelle de l'énergie dans les serres : situation technico-économique en 2005 et leviers d'actions actuels et futurs*. Angers : ADEME.
- INNOVAGRO, *Valorisation des rejets thermiques industriels : le chauffage des serres*, <http://www.innovagro.net/pdf/agro-industries.pdf> (consulté le 12.05.10).
- Legrand C. (2008). *L'énergie : un enjeu majeur pour la production de légumes sous serres*, Quimper : Maison de l'agriculture
- Loi cantonale sur l'énergie du 18 septembre 1989 (LEn) et son règlement d'application, Canton de Genève, L 2 30 / L 2 30.01.
- Loi fédérale sur l'aménagement du territoire du 22 juin 1979 (LAT), Confédération suisse, RS 700.
- OFAG (2002). *Office fédéral de l'agriculture*. <http://www.blw.admin.ch/index.html?lang=fr> (consulté le 11.05.10).
- OPAGE (2006). *Office de la Promotion Agricole Genevoise*, www.opage.ch (consulté le 10.05.10).
- Ordonnance fédérale sur l'aménagement du territoire du 28 juin 2000 (OAT), Confédération suisse, RS 700.1.
- Salomon, J. et al. (2010). *Introduction à l'agriculture urbaine*. Présentation dans le cadre du cours *Politiques territoriales intégrées*, UNIL, 22 février 2010
- SOSI (Service de l'organisation et des systèmes d'information) (2010). *Système d'Information du Territoire Genevois SITG*. <http://etat.geneve.ch/sitg/accueil.html> (consulté mai 2010).
- Spierer, E. (2007). *Genève lac Nation*, 15^{ème} conférence de l'esquisse verte, Service Cantonal de l'Energie, Genève.
- The Vertical Farm Project (2009). *The Vertical Farm Project - Agriculture for the 21st Century and Beyond*. www.verticalfarm.com (consulté mai 2010).
- Union Maraichère de Genève (UMG) (2009). *Union Maraichère de Genève*. <http://www.umg.ch> (consulté mai 2010).