



UNIL | Université de Lausanne

Unicentre

CH-1015 Lausanne

<http://serval.unil.ch>

Year : 2015

Entre liberté et nécessité: autour de deux débats au XIXe siècle

MÜLLER Thomas

MÜLLER Thomas, 2015, Entre liberté et nécessité: autour de deux débats au XIXe siècle

Originally published at : Thesis, University of Lausanne

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

Document URN : urn:nbn:ch:serval-BIB_ABA0DCB9DF235

Droits d'auteur

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

Copyright

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



UNIL | Université de Lausanne

FACULTÉ DES HAUTES ÉTUDES COMMERCIALES
DÉPARTEMENT D'ÉCONOMÉTRIE ET ÉCONOMIE POLITIQUE

**Entre liberté et nécessité: autour de deux débats
au XIXe siècle**

THÈSE DE DOCTORAT

présentée à la

Faculté des Hautes Etudes Commerciales
de l'Université de Lausanne

pour l'obtention du grade de
Docteur en Sciences Economiques, mention « Histoire de la pensée
et philosophie économiques »

par

Thomas MÜLLER

Codirecteurs de thèse
Prof. Roberto Baranzini
Prof. Jan Lacki

Jury

Prof. Olivier Cadot, Président
Prof. Harro Maas, expert interne
Prof. Annie Lou Cot, expert externe
Prof. Sara Franceschelli, expert externe

LAUSANNE
2015



UNIL | Université de Lausanne

FACULTÉ DES HAUTES ÉTUDES COMMERCIALES
DÉPARTEMENT D'ÉCONOMÉTRIE ET ÉCONOMIE POLITIQUE

**Entre liberté et nécessité: autour de deux débats
au XIXe siècle**

THÈSE DE DOCTORAT

présentée à la

Faculté des Hautes Etudes Commerciales
de l'Université de Lausanne

pour l'obtention du grade de
Docteur en Sciences Economiques, mention « Histoire de la pensée
et philosophie économiques »

par

Thomas MÜLLER

Codirecteurs de thèse
Prof. Roberto Baranzini
Prof. Jan Lacki

Jury

Prof. Olivier Cadot, Président
Prof. Harro Maas, expert interne
Prof. Annie Lou Cot, expert externe
Prof. Sara Franceschelli, expert externe

LAUSANNE
2015

IMPRIMATUR

Sans se prononcer sur les opinions de l'auteur, la Faculté des Hautes Etudes Commerciales de l'Université de Lausanne autorise l'impression de la thèse de Monsieur Thomas MÜLLER, titulaire d'un diplôme master en Physique de l'Ecole Polytechnique de Lausanne, en vue de l'obtention du grade de docteur en Sciences Economiques, mention "Histoire de la pensée et philosophie économique".

La thèse est intitulée :

ENTRE LIBERTE ET NECESSITE: AUTOUR DE DEUX DEBATS AU XIXE SIECLE

Lausanne, le 23 octobre 2015

PP/ Le doyen



Jean-Philippe Bonardi

MEMBRES DU JURY DE THÈSE

Roberto Baranzini, Professeur à l'Université de Lausanne
(directeur de thèse)

Olivier Cadot, Professeur à l'Université de Lausanne (président
du jury)

Annie Lou Cot, Professeure Université Paris 1 - Panthéon-
Sorbonne (expert externe)

Sara Franceschelli, Maître de Conférences ENS Lyon (expert
externe)

Jan Lacki, Professeur à l'Université de Genève (codirecteur de
thèse)

Harro Maas, Professeur à l'Université de Lausanne (expert
interne)

Université de Lausanne
Faculté des Hautes Etudes Commerciales

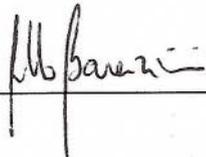
Doctorat en Sciences Economiques,
mention « Histoire de la Pensée Economique »

Par la présente, je certifie avoir examiné la thèse de doctorat de
de

Thomas MÜLLER

Sa thèse remplit les exigences liées à un travail de doctorat.
Toutes les révisions que les membres du jury et le-la soussigné-e ont
demandées durant le colloque de thèse ont été prises en considération et
reçoivent ici mon approbation.

Signature :



Date :

18/10/2015

Prof. Roberto BARANZINI

Codirecteur de thèse

Université de Lausanne
Faculté des Hautes Etudes Commerciales

Doctorat en Sciences Economiques,
mention « Histoire de la Pensée Economique »

Par la présente, je certifie avoir examiné la thèse de doctorat de
de

Thomas MÜLLER

Sa thèse remplit les exigences liées à un travail de doctorat.

Toutes les révisions que les membres du jury et le-la soussigné-e ont
demandées durant le colloque de thèse ont été prises en considération et
reçoivent ici mon approbation

Signature : Annie COT Date : 23/10/2015

Prof. Annie COT
Membre externe du jury

Université de Lausanne
Faculté des Hautes Etudes Commerciales

Doctorat en Sciences Economiques,
mention « Histoire de la Pensée Economique »

Par la présente, je certifie avoir examiné la thèse de doctorat de

de

Thomas MÜLLER

Sa thèse remplit les exigences liées à un travail de doctorat.

Toutes les révisions que les membres du jury et le-la soussigné-e ont
demandées durant le colloque de thèse ont été prises en considération et
reçoivent ici mon approbation

Signature :



Date :

22/10/2015

Prof. Sara FRANCESCHELLI

Membre externe du jury

Université de Lausanne
Faculté des Hautes Etudes Commerciales

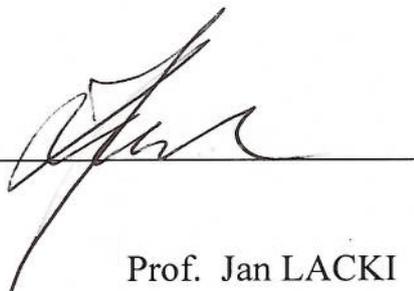
Doctorat en Sciences Economiques,
mention « Histoire de la Pensée Economique »

Par la présente, je certifie avoir examiné la thèse de doctorat de
de

Thomas MÜLLER

Sa thèse remplit les exigences liées à un travail de doctorat.
Toutes les révisions que les membres du jury et le-la soussigné-e ont
demandées durant le colloque de thèse ont été prises en considération et
reçoivent ici mon approbation.

Signature :



Date :

18/10/2015

Prof. Jan LACKI
Codirecteur de thèse

Université de Lausanne
Faculté des Hautes Etudes Commerciales

Doctorat en Sciences Economiques,
mention « Histoire de la Pensée Economique »

Par la présente, je certifie avoir examiné la thèse de doctorat de
de

Thomas MÜLLER

Sa thèse remplit les exigences liées à un travail de doctorat.
Toutes les révisions que les membres du jury et le-la soussigné-e ont
demandées durant le colloque de thèse ont été prises en considération et
reçoivent ici mon approbation

Signature :



Date :

20/10/2015

Prof. Harro MAAS
Membre interne du jury

Ringraziando chi di piacere

Scrivere una tesi è un lavoro lungo, o quanto lungo. E chi di storia ferisce, di storia perisce. Fortuna vuole che tra un volume e l'altro si scovino manitese, aiuti piccoli e grandi, taluni davvero in forme inusuali.

Qui vorrei ringraziare alcune persone. Non tutte. Ne dimenticherò anche troppe. E un elenco è sempre freddo, distante. Qui nella mia lingua vorrei qualcosa di imperfetto e più personale. Quindi.

Vorrei ringraziare il professor Libero Zuppiroli per aver dato retta a un fastidioso, arrogante studente di fisica che lo assillava con domande incongrue su Aristotele. Per aver aiutato quello stesso studente cinque anni più tardi suggerendo e prudenza e entusiasmo per un progetto che richiedeva entrambe.

Vorrei ringraziare Henri Volken, matematico *sui generis*, insieme a Arnaud, Mélanie, Yannick, Jorge, Jean-Philippe, André, Jean-Pierre e Olivier, per le discussioni interminabili su matematica, Whitehead, il libero arbitrio e la sociologia delle scienze. Senza dimenticare gli anni di lavoro in comune. E le serate.

Qui si ringraziano anche tre amici intellettuali a tutto tondo, Laurent Cordonier, Piergiuseppe Esposito e Antonio Vassallo. Troppe volte non so più dire quali delle tante idee che ronzavano sopra le nostre teste erano mie e quali vostre. C'è certamente parecchio di entrambi in questo lavoro.

Vorrei includere una nota di affaticata ma franca stima per i commenti e il lavoro di revisione di Annie Cot, Sara Franceschelli e Harro Maas. Non hanno magari reso il compito più semplice, ma di certo migliore. Non è poca cosa.

In modo informale, attraverso discussioni e critiche puntuali, ho anche beneficiato del sostegno di Jerome Lallement, Philippe Martin e Christian Gruber. Giorgio Israel, recentemente scomparso, è stato un prezioso aiuto in diversi momenti, e un esempio da seguire. Roberto Baranzini e Jan Lacki, che hanno diretto questo lavoro, ne hanno letto e commentato numerose versioni precedenti, scontrandosi con la caparbia ostinazione dell'autore in numerose occasioni. Non un compito semplice.

Dulcis in fundo (per un latino anche lui un po' informale), è con un misto di affetto e stima che vorrei aggiungere una piccola lista di grandi amici. Nicolas Brisset, Michele Bee, Raphael Fevre, Nicolas Eyguesier, Maxime

Desmarais-Tremblay, Sophie Swaton, Antoine Missemmer e Francois Allisson hanno sapientemente creato quella atmosfera un po' seria, un po' magica, un po' burlesca che ha permesso attraverso serate d'impegno, conferenze festanti, bottiglie di sapienza d'annata, idromele e articoli, commenti guizzanti, stoccate di classe, intellettualissimi caffè, seminari bollenti e partite di scacchi di trasformare un lavoro in passione contravvenendo così al famoso incubo marxista.

La mia famiglia, e soprattutto il mio fratellino ormai grande, hanno stoicamente supportato (e sopportato) gli alti e bassi del mio percorso, non solo lavorativo. I miei carissimi amici Giuseppe, Alessandro, Pigi, Larissa, Ilaria, Severine, Andrea, Maria, Danjel, Merouan, Antoine e Silvia lo hanno invece riempito di chiacchiere e musica, risate allegria e qualche goliardico espediente su cui il contesto suggerisce di glissare ma che fanno la differenza tra una tesi abbandonata e una riuscita.

Ad majora ! E grazie.

Et pour les non-italophones : une trahison-traduction.

Ecrire une thèse c'est un travail long, très long. Heureusement on trouve de l'aide par moments, et c'est parfois dans des formes inattendues que cela se présente.

J'aimerais remercier quelques personnes, et je sais que je vais en oublier des autres.

Néanmoins.

J'aimerais remercier le professeur Libero Zuppiroli pour avoir écouté un jeune physicien arrogant qui posait d'étranges questions sur Aristote. Et pour l'avoir ensuite encouragé et découragé en même temps de se lancer dans une aventure doctorale folle et passionnante. J'aimerais remercier Henri Volken, Arnaud, Mélanie, Yannick, Jorge, Jean-Philippe, André, Jean-Pierre et Olivier pour les inoubliables, éternelles discussions sur les mathématiques et leur usage. Et pour les années de travail en commun. Pour ne pas parler des soirées.

J'aimerais remercier Laurent Cordonier, Piergiuseppe Esposito et Antonio Vassallo pour les longs débats de philosophie et de bien d'autres sujets.

Cette thèse à largement bénéficié du travail critique et de relecture de Annie Cot, Sara Franceschelli et Harro Maas.

De manière informelle, par le biais de nombreuses discussions et échanges,

j'ai aussi bénéficié de l'aide de Jerome Lallement, Philippe Martin et Christian Gruber. Giorgio Israel, récemment disparu, m'a aidé à des nombreuses occasions, et est pour moi un exemple à suivre. Mon directeur de thèse Roberto Baranzini et mon codirecteur Jan Lacki ont relu un nombre considérable de fois les versions préalables de ce travail et se sont heurtés à la fierté souvent têtue de l'auteur, ce qui n'est jamais chose facile.

Enfin, et c'est le meilleur pour la fin, j'ai bénéficié du soutien d'une poignée d'amis exceptionnels : sans vouloir sous-estimer leur contribution intellectuelle, lors de séminaires, discussions, cafés, soirées, relectures, écoles d'été et conférences disparates, j'ai surtout apprécié l'ambiance de travail, toujours positive, et vivante, toujours propositive, que Nicolas Brisset, Michele Bee, Raphael Fevre, Nicolas Eyguesier, Maxime Desmarais-Tremblay, Sophie Swaton, Antoine Missemmer et Francois Allisson ont su créer.

Ma famille, mon frère tout particulièrement, ont supporté stoïques les nombreuses aléas de mon parcours de chercheur. Mes chers amis Giuseppe, Alessandro, Pigi, Larissa, Ilaria, Severine, Andrea, Maria, Danjel, Merouan et Silvia les ont remplis de musique, d'allégresse et de quelques souvenirs que le contexte suggère de ne pas évoquer, mais qui font néanmoins la différence entre une thèse abandonnée et une thèse réussie.

Merci.

Table des matières

Faire de l'Histoire, raconter une histoire	ix
1 Préface	1
1.1 Matériel et sources	18
2 Introduction	21
2.1 Macroscopique et microscopique en physique et en sciences humaines	21
2.1.1 Observation, modélisation, confirmation	21
2.2 Le déterminisme en sciences naturelles et le déterminisme en sciences humaines	28
2.2.1 Le déterminisme naturel au sens de Laplace	30
2.3 Statut des lois en sciences naturelles et en sciences humaines	37
3 Homme moyen, déterminisme et liberté : débat autour de la phy- sique sociale de Quetelet	45
3.1 Homme moyen, physique sociale : le gant du défi au libre arbitre	47
3.2 Mill, Buckle , et le déterminisme historique	53
3.3 La question des probabilités : Cournot, Mill et la probabilité objective	58
3.4 La réception de Quetelet en France	65
3.5 Laissez-faire et lois sociales : le déterminisme au service des idées libérales	76
3.6 Quetelet sous les Fourches Caudines : un changement de perspective	79
3.7 Nouveau siècle : Quetelet revisité	84

3.8	L'érosion du déterminisme : le probable comme source de liberté	86
4	Mettre la liberté en équation : le paradoxe d'un libre arbitre récalculant	89
4.1	Avant Walras : Antoine Augustin Cournot	90
4.1.1	Cournot et les mathématiques	93
4.1.2	Liberté, déterminisme, probabilité : l'épistémologie cournotienne et le monde physique	95
4.1.3	L'application des mathématiques en physique	97
4.1.4	L'application des mathématiques en économie	100
4.2	Cournot, philosophe de la prudence.	105
4.3	La division des sciences de Walras	108
4.4	La liberté humaine face aux mathématiques	110
4.4.1	Une faille dans le déterminisme de l'économie pure ?	114
4.4.2	Morale pure et lois nécessaires	119
4.4.3	Walras et Levasseur : histoire d'une rencontre échouée	123
4.4.4	La critique de Levasseur	125
4.4.5	Pierre Émile Levasseur et les mathématiques	127
4.4.6	Deux critiques aux mathématiques de Walras	133
4.4.7	La correspondance Walras-Menger	134
5	Maxwell et le déterminisme	139
5.1	Les mathématiques victoriennes, pointe de diamant de la physique mathématique	144
5.2	Thermodynamique et réductionnisme dans la pensée de Maxwell	147
5.3	Le démon de Maxwell : un laboratoire de pensée	151
5.4	Le conflit entre science et foi au travers de la question du déterminisme	163
6	Le débat autour du mémoire de Boussinesq	171
6.1	Philippe Breton et la réversibilité	172
6.2	Le mémoire de Boussinesq de 1877	174
6.3	Cournot et Saint-Venant : le travail décrochant	183
6.4	La réponse de Bertrand	186
6.5	Le débat philosophique autour du mémoire de Boussinesq .	190

<i>TABLE DES MATIÈRES</i>	vii
7 Conclusion	205
A Solutions singulières	213
B Le modèle Kac Ring	215

Faire de l'Histoire, raconter une histoire

'And so the story goes' annoncent nombre de nouvelles que notre enfance et adolescence nous ont appris à chérir et admirer. L'histoire 'va', se 'déroule' suivant un chemin qui semble, au lecteur, aller de soi, le long de raies invisibles dictées par une logique interne qui est la somme du comportement des agents, des contraintes de l'environnement, et de nombre de petits aléas et contingences qui nous amènent aux files des pages vers une conclusion irrésistible. Ainsi, le Petit Chaperon rouge ne peut que finir dans les griffes du loup, un destin que seule l'intervention du brave chasseur peut lui éviter. Cependant, une analyse du texte, nous montre bien que c'est le choix précis et conscient d'un thème à discuter qui dicte à l'auteur de l'histoire ce que ses personnages se doivent d'être et de dire.

Ainsi il en est des histoires 'stories', mais dans une certaine mesure il en est aussi de l'Histoire, 'history'. Si les faits sont dans une certaine mesure une contrainte aux possibles narrations de l'Histoire, nous choisissons en partie ce que nous voulons leur faire raconter. Le Petit Chaperon rouge est une fillette bien jeune et bien naïve parmi toutes celles qui habitent son village. Le loup possède une intelligence hors du commun par rapport à ses congénères. Une histoire externaliste nous dirait peut être qu'il y a une plaine et un marécage autour de la maison, mais c'est bien de la forêt que l'on parle. Et ce n'est pas anodin : tout converge afin d'en tirer un message, une conclusion sur l'histoire des fillettes naïves qui se perdent dans les bois et qui font confiance à des personnages douteux.

Le risque qu'on court dans une Histoire, racontée comme une histoire est de cacher dans un enchaînement, un fil narratif qui peut paraître naturel, une vision partielle et souvent implicite chez l'auteur, mais qui découle d'un

choix délibéré de narration, et qui pour sa nature de choix demande à être assumée et explicité.

Je vais défendre néanmoins une manière de 'faire de l'Histoire comme une histoire'. Cela signifie une technique narrative, mais aussi une stratégie de choix de textes, d'auteurs et d'enchaînements logiques que je revendique comme une historiographie légitime et informative. Il y en a d'autres : nous louons le pluralisme méthodologique. Celle-ci est la nôtre et nous allons défendre notre style d'analyse et de lecture.

Rorty (1984) distingue quatre genre historiographiques pour le philosophe (que Blaug (1990) assume pour l'historien des idées aussi, voir aussi (Dockes, 1992; Cot et Lallement, 1994)), la *Geistesgeschichte*, la reconstruction historique, la reconstruction rationnelle, et la doxographie.

Une fois la doxographie écartée, personne ne semble contester Blaug et Rorty sur ce point, il reste trois méthodologies historiques jugées valables. Blaug s'efforce de comparer la reconstruction rationnelle et la reconstruction historique, et tout en étant visiblement un acolyte de la première, il reconnaît sa validité à la deuxième. Peut est dit sur cette '*Geistesgeschichte*', au nom allemand signifiant 'histoire de l'esprit'¹. C'est pourtant dans l'une des déclinaisons possibles de ce troisième axe que nous pensons inscrire le présent travail.

Blaug considère que cette '*history of minds and spirit*', « tries to identify the central questions that past thinkers have posed and to show how they came to be central to their system of thought (p. 27) ».

L'identification d'une question est donc le premier point à cerner, la notre étant de savoir s'il est possible de concilier une connaissance scientifique, sociale ou physique, avec la liberté humaine. Mais comment peut-on reconstruire 'l'esprit du temps' et la '*forma mentis*' de ceux qui y ont réfléchi dans un certain contexte historique ?

Nous allons nous efforcer de reconstruire le réseau d'échanges, de débats et surtout de contestation et de remise en discussion dans lequel cette

1. Une première remarque : '*Geist*' se traduit bien par 'esprit' en français, mais Blaug le traduit par '*spirit*' en anglais. Cependant, la langue anglaise distingue, contrairement au français et à l'allemand (mais en ligne avec l'italien) '*mind*' et '*spirit*', qui les deux se disent par '*Geist*' (d'où '*philosophy of mind*' '*Philosophie des Geistes*', '*philosophie de l'esprit*'). *Geistesgeschichte* peut donc se rendre à la fois par '*history of the spirit*' ou bien '*history of the minds*', selon qu'on choisit une dimension plutôt externaliste et sociale (*spirit*), ou internaliste et rationnelle (*mind*). Les deux aspects nous intéressent, mais il vaut la peine de les distinguer.

question s'est posée, un réseau qui s'avère éminemment transdisciplinaire.

Or, dans la mesure où nous posons une question commune à plusieurs disciplines, et donc se déclinant aux besoins multiples d'une communauté hétérogène, il n'est que très difficilement possible d'identifier un cadre analytique fort à l'intérieur duquel on pourrait identifier des enjeux communs à chacun de nos auteurs.

Une solution alternative possible est alors de suivre des fils rouges que les auteurs eux-mêmes auraient tendus. Dans la mesure où ils se sont parlé, ils ont renvoyé l'un au travail de l'autre ou ils ont estimé pertinent de faire usage d'éléments de travaux d'auteurs qui n'appartiennent pas à leur cadre disciplinaire, c'est qu'ils doivent en avoir perçu l'avantage et l'intérêt. Il s'agit alors en suivant les traces laissées par nos auteurs de reconstruire le cadre d'un questionnement tel qu'il a dû être perçu par nos auteurs, dans la mesure où nous racontons une histoire de cette question et des débats la concernant aussi proche que possible de ce que nos auteurs doivent avoir vécu et ressenti. Plutôt que d'interpréter un texte par rapport à l'ensemble de l'oeuvre d'un auteur, nous proposons d'interpréter un texte par rapport à l'ensemble des textes proches à la fois thématiquement, temporellement et culturellement. Au terme quelque peu suranné de *Gesitesgeschichte* on peut éventuellement préférer, suivant Dockes (1992) celui de lecture synchrone, et de méthode structurale, au sens de « reconstituer le cadre abstrait à travers lequel les acteurs-producteurs de textes les ont dits [...] » (ibid.) Le cadre abstrait ne se compose pas d'une grille analytique forte que nous imposons aux textes, mais bel et bien du réseau conceptuel formé du matériel qui entoure nos textes : correspondance, compte-tendus, notes d'humeur, et bien évidemment d'autres textes. De même qu'à l'intérieur d'un langage la signification d'un mot est donnée par les rapports qu'il entretient avec les autres mots du langage qui lui sont proches, la signification d'un texte est donnée par le réseau de textes qui lui sont proches.

Formulé autrement : là où l'on retrouve des traces bien visibles et explicites de la question qui nous intéresse (notre questionnement de recherche), on retrouve aussi ce qui a été lu, ce qui a été retenu comme pertinent, et ce qui a donné lieu à malentendu et polémique aux yeux de l'auteur qui nous intéresse. Reconstruire cette galaxie de tâtonnement conceptuel dans lequel ont erré nos auteurs revient à reconstruire un contexte de production des textes, et donc une clé interprétative.

Certains textes doivent bien évidemment être choisis comme point de départ, ce sont la des 'nœuds' du discours choisi pour leur pertinence et centralité. Pour cette thèse les quelques 'nœuds' sont le texte de Quetelet sur le libre arbitre (Quetelet, 1847), l'échange entre Walras et Levasseur (Vergé, 1996 (1874)), la communication de Maxwell à l'Eranus Club (Maxwell, 1995, 814-823) et le mémoire de Boussinesq (Boussinesq, 1879a). À partir de ces noeuds, nous parcourons les ficelles que nos auteurs ont tracées. Ce sont les auteurs qu'ils citent, les renvois aux textes proposés, leur correspondance ou encore des notes manuscrites, dans lesquelles la question resurgit. D'autres auteurs ainsi identifiés seront des partenaires ou des adversaires intellectuels qui ont été ressentis par nos auteurs de départs comme pertinents et qui ont donc contribué à la production des textes. En les lisant comme insérés dans cette galaxie conceptuelle, nous allons pouvoir dégager une signification qui est historiquement contextualisée.

Ce qui ressort de cette chasse le long d'une toile d'araignée tissée par des auteurs autour d'une question particulière n'est certainement pas l'Histoire, mais c'est bien une histoire. En quoi cette histoire contribue-t-elle à l'Histoire ? En ce qu'elle permet de rendre l'esprit du temps, le ressenti, et dans une certaine mesure, la manière de raisonner autour de la question centrale que nous avons posée. En reconstruisant un réseau d'idée autour de notre question, nous construisons la galaxie des déclinaisons de cette même question, et nous permettons à notre lecteur de se mettre dans l'esprit du temps en ce qui concerne cette question. Bien évidemment, une telle démarche ne répond en rien à la question sur la justesse ou la vérité des propos d'un auteur. Cependant, elle rend justice à une question différente qui est celle de la rationalité du discours d'un auteur (Skinner, 2012). Du moment où nous lisons la réponse à un questionnement précis chez un auteur, à la lumière de la production intellectuelle culturellement et temporellement proche de cet auteur et dans laquelle il a baigné, nous disposons d'un accès possible à sa propre rationalité et à celle de ses contemporains.

Bien sûr ce n'est pas un travail indemne de toute critique sur un plan méthodologique : nous restons des contemporains, avec notre ressenti de contemporains, qui en lisant des textes du passé ne peuvent que leur superposer leur vision contemporaine. Mais quitte à admettre l'impossibilité de reconstruire une image fidèle de l'histoire, la toile d'araignée que nous construisons n'est pas aléatoire. Elle suit une trace laissée par nos auteurs,

et est donc ce que nous pouvons espérer être l'image la plus fidèle du réseau conceptuel auquel ils faisaient référence. Au fond, la meilleure façon de savoir comment une question est devenue centrale dans une réflexion, comment elle a été comprise, et quels enjeux elle a soulevés, c'est de parcourir les chemins que l'esprit des auteurs concernés a parcourus : leurs lectures, leurs échanges, les discussions auxquelles ils ont contribué. Certes, une telle démarche présente d'immenses lacunes. Elle s'avère incapable de rendre la totalité de la pensée d'un auteur, et se contente d'une vision très partielle et parfois très réductrice de la profondeur de sa pensée. Elle ne rend pas non plus une vision homogène de l'esprit du temps : elle se borne à une question précise et laisse une quantité gigantesque d'information historique or du cadre d'analyse. Cependant, elle a le privilège d'être cohérente : elle exhause en un sens une question, qui est de savoir comment une communauté intellectuelle, que nous identifions par sa proximité à l'un de ces nœuds du discours dont nous parlons, a compris une question particulière. Sachant qu'il n'y a pas de compte rendu historique complet ni objectif, la cohérence nous semble l'objectif le plus envisageable pour un travail d'histoire des idées.

En quoi ce type d'Histoire diffère alors de la reconstruction historique au sens de Blaug ? Il nous semble que la reconstruction historique (ce qu'un auteur a 'vraiment voulu dire') se fixe un objectif de complétude et d'exhaustivité sur la pensée d'un auteur – certes louable – que nous n'avons pas ici. La raison en est que cette thèse est interdisciplinaire et transdisciplinaire, elle met en relation des horizons culturels et méthodologiques très variés, et un objectif de complétude par rapport à une pensée, fut elle géniale, nous semble en contraste avec l'ouverture que l'interdisciplinarité suppose. Reconstruire ce que Walras, ou Maxwell, ont vraiment voulu dire en parlant de libre arbitre n'est pas la même question que de demander ce que 'libre arbitre' signifiait dans une période et une communauté donnée. Et de se replier sur 'ce que Walras ou Maxwell voulait vraiment dire par un concept donné' est un travail intéressant et pertinent, mais ce n'est pas le seul travail pertinent qu'on puisse faire par rapport à ce qu'ils ont dit. En reconstruisant une histoire autour d'une question, une histoire qui ne cherche pas forcément à insérer cette question dans la pensée d'un seul auteur, mais qui parcourt plutôt le rebond et la vas-y viens de la question entre une poignée d'auteurs et leur réseau, nous pouvons avoir une compréhension historique

cohérente et intéressante, qui n'a rien à envier à la question 'qu'a-t-il vraiment voulu dire?'. Nous revendiquons que de raconter une telle histoire est en soi une contribution historique, une contribution à l'Histoire de la pensée non pas d'un auteur, mais d'une période et autour d'une question. L'accent est décalé, non pas sur un auteur-concept comme questionnement de recherche (ce qu'un auteur a vraiment voulu dire par une analyse de l'ensemble de son corpus), mais sur un concept-auteurs (ce qu'un concept a voulu dire pour un groupe de penseurs).

Notre travail est interdisciplinaire à plus d'un sens : il touche à l'histoire de la physique, à la pensée économique, aux statistiques, mais il s'inscrit aussi sous cette étiquette curieuse que l'on nomme "history of sciences" (Schabas, 1992) et parfois 'history and philosophy of science'. C'est, bien évidemment, un travail historique sur le plan méthodologique. Cependant, il adresse un questionnement de fond qui est philosophique : le rapport entre libre arbitre et déterminisme est une question encore ouverte de nos jours. En ce sens, ce travail est une contribution à la philosophie des sciences aussi. Ce n'est pas de la "reconstruction rationnelle" au service de la communauté des philosophes, et c'est pour une raison précise. Faire de la reconstruction rationnelle sous-entend, à notre sens, une cumulativité du savoir qui - discutable en physique ou en économie - nous paraît encore plus douteuse en philosophie. Ainsi analyser les facettes d'une question à une époque donnée et les mettre en contexte est en soi une contribution au débat sur cette question. Et de s'intéresser à une question philosophique au travers d'une méthodologie d'historien c'est une autre façon de comprendre l'interdisciplinarité : plutôt que comme un mélange de données d'horizons différents, c'est ici un imbriquement entre une question d'une discipline au travers d'un regard et d'un cadre d'analyse d'une autre. Histoire et philosophie des sciences donc, par une méthodologie d'historien, qui raconte une histoire de l'Histoire. Geistesgeschichte.

Finalement si on insistait davantage pour nous rappeler qu'une telle vision est partielle, qu'elle ne raconte qu'un point de vue qui est prisonnier des aléas des parcours de vies de nos auteurs, et qu'elle encourt le risque de se faire porter par les auteurs au lieu d'être un questionnement posé aux auteurs, nous admettons volontiers qu'il en est ainsi. Mais nous répondons qu'en nous faisant porter par les auteurs, tout en étant conscient de ce que l'on fait, nous reconstruisons un parcours qui est proche de ce

que nos auteurs ont dû vivre, et donc penser. Ainsi c'est une méthode de reconstruction d'un contexte, non pas de reconstruction historique d'une pensée, mais de reconstruction historique d'une thématique, d'un *thema*, tel qu'il pouvait être ressenti à l'époque même de la discussion.

Et si une dernière justification, cette fois davantage esthétique qu'historiographique nous est consentie, nous revendiquons le plaisir que nous avons à écouter des histoires. Il nous a été bien plus facile et agréable de réfléchir aux significations du petit Chaperon rouge en écoutant une histoire qu'en ayant une savante discussion sur ce que l'histoire voulait vraiment dire. Quitte à admettre que les deux méthodes sont tout aussi valables sur le plan de faire de l'Histoire, nous revendiquons de prendre davantage de plaisir dans une narration qui coule paisiblement, et nous espérons que nos lecteurs puissent en dire de même. Sur ces mots, bonne lecture.

Chapitre 1

Préface

Cette thèse vise à reconstruire et étudier les débats qui eurent lieu dans une période couvrant approximativement la période 1860-1890 autour de la tension entre déterminisme et libre arbitre. Un tel travail s'insère dans le contexte des influences croisées de la physique sur les sciences humaines et réciproquement, avec une attention spéciale portée sur l'économie politique.

Notre histoire commencera avec un épisode bien connu, la formulation par Laplace du déterminisme et de son célèbre démon, une entité fictive, douée d'une capacité de calcul illimitée, capable d'extraire de la connaissance du présent la totalité des états passés et futurs du monde. Cette idée de déterminisme est caractéristique de la physique, et imprégnera les débats sur le déterminisme qui vont suivre. L'idée laplacienne repose, comme on le verra, sur une série d'hypothèses qui nous guideront au travers du labyrinthe conceptuel du débat sur la liberté. L'épisode du démon sera donc un point d'appui pour construire l'arbre du débat sur la liberté, avec toutes ses ramifications. Les catégories conceptuelles qu'on peut dégager du déterminisme laplacien serviront à cartographier le territoire à explorer, et permettront de dégager les analogies et les différences parmi nos auteurs.

Nous allons caractériser l'attitude de Laplace, que nous appelons *mécanicisme laplacien* par un triptyque, soit le réductionnisme, le déterminisme et les mathématiques comme Langue de la Nature. Notre section 2.2.1 sera dédiée à définir et expliciter ce triptyque.

Notre histoire se caractérise comme un épisode de résistance envers les idées laplaciennes. D'autres auteurs ont déjà souligné des formes de

résistance à la démarche laplacienne, par exemple celle des idéologues à propos de la quantification du social, un épisode que nous pouvons regarder comme précurseur de ce que cette thèse va discuter (Martin, 2012).

Nous avons identifié deux épisodes particulièrement significatifs autour de notre thématique : il s'agit d'un côté de la conciliation recherchée par Quetelet entre libre arbitre et lois statistiques. C'est une conciliation qui se révèle nécessaire suite à l'influence de la pensée laplacienne sur Quetelet et sur sa méthode de travail. Un deuxième débat joue en quelque sorte un rôle de contre poids au débat queteletien : il s'agit d'un mémoire de Joseph Boussinesq sur la conciliation entre libre arbitre et lois mécaniques. Ce deuxième débat se caractérise par une déclinaison de la question différente, mais qui est à plusieurs égards héritière de la première. Elle l'est par rapport à des nombreux renvois et références dans le texte de Boussinesq au débat queteletien, mais aussi parce que les articles dédiés au débat sur ce mémoire y mêlent un discours sur Quetelet, en mélangeant de fait les deux questions. Ces deux pôles d'un discours entretiennent donc des rapports entre eux qui permettent d'en faire les deux tenants d'un discours, deux 'noeuds' comme nous l'avons dit au préalable. De ses noeuds, nous dérivons deux autres débats, deux autres noeuds du débat. D'un côté il y a l'affrontement sur la question de la liberté qui eut lieu entre Walras et Levasseur. Cet affrontement se lie au débat queteletien et en est un produit dérivé en quelque sorte. Nous verrons qu'il sera lu par certains auteurs sous un angle queteletien, tout en présentant des aspects nouveaux qui en garantissent l'originalité. La centralité de Walras dans l'histoire de la pensée économique justifie le choix de ce débat.

Enfin, en parcourant le fil de l'histoire en sens inverse à partir de Boussinesq, on peut lui trouver un prédécesseur d'envergure : James Clerk Maxwell. Maxwell regardera lui-même le débat de Boussinesq comme l'aboutissement de son propre discours sur la liberté. De plus, Maxwell se lie par son usage des statistiques et par ses sources à la fois en ce qui concerne la physique et en ce qui touche au débat sur le libre arbitre, aux travaux de Quetelet. Ainsi, nous avons quatre noeuds, quatre déclinaisons d'une même question, qui sont en partie l'héritage et l'aboutissement l'un de l'autre, déclinés au goût et suivant les particularités du domaine auquel ils s'appliquent. En partant de ces quatre noeuds, nous trouverons des textes, des débats, des lettres et de compte-rendus permettant de reconstruire un

discours sur le déterminisme et le libre arbitre à un moment historique particulier.

Le chapitre 3 sera dédié à l'analyse du débat sur la liberté qui a lieu autour de l'usage des statistiques par Adolphe Quetelet. Nous pensons que Quetelet, un penseur fortement influencé par Laplace (Stigler, 1986, p. 162) exporte un mode de réfléchir et pratiquer la science proche du mécanisme laplacien, de la physique vers les sciences de l'homme (Lottin, 1912, p. 99-100).

Parmi les sources d'inspiration du statisticien belge, outre Laplace, on peut notamment trouver Fourier, Condorcet et Turgot (Beirne, 1987)¹. Laplace et Fourier sont des acteurs importants dans l'introduction du raisonnement probabiliste en sciences de l'homme et de ses applications, et donc des précurseurs du travail statistique de Quetelet (Stigler, 1986, p. 162). Tout comme Quetelet, Turgot et Condorcet sont des déterministes en ce qui concerne les phénomènes physiques². Ils étudient le monde physique comme étant régi par des lois naturelles, sans toutefois étendre les conséquences de ce déterminisme au monde social. Au contraire, la liberté est chez eux une valeur importante. Il y a en tout cas une filiation de Laplace à Quetelet, mais aussi, chez ce dernier, une façon de décliner la question de la liberté nouvelle, qui s'adapte aux enjeux des sciences de l'homme.

La thèse fait à ce point un bond temporel jusqu'au années 1873, afin de suivre une déclinaison du débat sur la liberté en économie : la confrontation entre Walras et Levasseur. Le déterminisme auquel Walras est confronté n'est pas identique à celui qui est discuté dans le débat queteletien. Cependant il y a des rapports et des influences en provenance de ce débat. Walras lui même, contraint de se défendre des critiques de Levasseur, y fera référence dans son travail (Walras, 1987, p. 327-328), en suggérant de fait qu'il n'y a pas plus de conflit entre ses équations et le libre arbitre qu'entre le travail de Quetelet et ce même libre arbitre. En outre, nous retrouvons des auteurs qui lisent Walras à travers un filtre queteletien, notamment celui de l'homme moyen, et qui font référence à la question de la liberté. Ainsi,

1. Voir aussi Lottin (1912, p. 371-377)

2. Voir Gide et Rist (1926, p. 6-13) à propos de l'ordre naturel chez Turgot. Gide discute de l'ordre naturel chez les physiocrates et cite explicitement Turgot. Il le classe donc parmi les physiocrates, tout en en faisant un 'dissident'. Voir aussi McLean et Hewitt (1994); Granger (1956) sur les mathématiques sociales de Condorcet.

s'il apparaît que le débat sur la liberté chez Walras est différent de celui chez Quetelet, la pertinence de les rapprocher se retrouve chez les auteurs mêmes que nous traitons, qui ne parviennent pas à séparer les débats, ou ne souhaitent pas le faire.

Notre chapitre 5, sur Maxwell, verra l'intrication devenir si possible encore plus importante. En effet, Maxwell, confronté à la question du déterminisme dans une forme qui rappelle de près le questionnement laplacien, utilisera sciemment des arguments queteletiens à propos de la compatibilité entre la détermination des lois physiques, les mouvements atomiques, et le déterminisme. Enfin, le chapitre 6 sur Boussinesq se caractérisera par un changement de perspective sur la question du libre arbitre qui prendra une forme particulière, propre à la question telle qu'elle est posée par les physiciens. Cependant, le débat queteletien refait surface par moment, même dans cette dernière déclinaison de la question, et c'est à la fois dans les écrits de Boussinesq et de ceux qui discutent de son travail.

Or, ce qui unit ces quatre débats sous un seul chapeau est la présence chez les auteurs qui en discutent d'un mélange des enjeux et des arguments. Chacun d'entre eux entretient une galaxie de liens avec d'autres auteurs, mais une partie importante de ces liens renvoient par divers chemins aux autres noeuds et aux autres auteurs que nous avons choisis. Cela signifie que le débat concernant le libre arbitre tel qu'il se présente dans les sciences de l'homme et dans les sciences de la nature tout en ayant une structure logique et des enjeux qui ne sont pas identiques, est regardé par une partie des acteurs de ce débat comme une seule question. Parfois cela se constate par la présence des discussions qui les concernent dans des mêmes articles, parfois des arguments en provenance de l'un des débats sont utilisés dans l'autre, comme si de fait il ne s'agissait que d'une seule et unique question.

La pertinence de traiter ces trois débats sous un même chapeau ne vient donc pas de ce qu'ils soient très proches sur le plan de l'histoire des concepts, mais du fait qu'ils sont abordés par les auteurs que nous traitons, de façon croisée, entremêlée, et parfois avec une intrication telle qu'il devient difficile de les séparer. C'est donc sur le plan de l'histoire des faits que se justifie la cohérence d'ensemble de ce travail.

Une question surgit pourtant immédiatement : comment se justifie le fait que nos auteurs aient regardés des débats qui conceptuellement ne se recoupent qu'en partie, comme ayant une sorte de nature commune ?

L'idée que nous allons explorer est celle des *themata* de la pensée scientifique, développée par Gerald Holton (1981). Holton a suggéré qu'il existe en histoire de sciences des grands thèmes récurrents qui reviennent cycliquement sur scène et qui forment un arrière-plan de pensée partagée par une communauté de scientifiques à différents moments de l'histoire des sciences. L'idée peut paraître proche des « programmes de recherche » de Lakatos (1978), mais elle est moins restrictive (un *thema* est un cadre de pensée, alors qu'un programme de recherche est une théorie). Un *thema* peut couvrir plusieurs domaines disciplinaires, et en général a une durée de vie plus longue qu'un programme de recherche. C'est aussi un concept plus flou que celui de programme de recherche³.

La catégorie épistémique des *themata* se prête particulièrement bien à l'étude que nous souhaitons mener, qui possède un caractère pluridisciplinaire, et qui décline une même question sous des angles variés, suivant notamment la discipline concernée. En effet, cette variété disciplinaire implique une hétérogénéité des réponses et des pensées au sein d'un même questionnement qui s'inscrirait difficilement dans des catégories rigides. La notion de *thema* holtonien fournit un cadre analytique minimal, peu rigide, qui s'avère tout à fait adéquat au traitement de notre problématique.

Le *thema* mécaniciste est redevable de l'idée laplacienne d'un monde régi par des lois déterministes, qui s'expriment à un niveau microscopique en suggérant un fort réductionnisme, et qui prennent une forme mathématique. L'arrivée du *thema* mécaniciste en sciences de l'homme avec l'emprunt de la part de Quetelet d'une méthodologie s'inspirant de Laplace se heurte immédiatement à des pratiques courantes qui pensent la liberté humaine comme centrale, difficilement conciliable avec le nouveau *thema*. Le pas que Quetelet opère et qui change donc la donne est représenté par l'exportation d'un *thema* méthodologique qui était jusqu'à là resté contraint à l'interne du monde des sciences naturelles. C'est alors un conflit entre pratiques différentes et modes de pensée qui se déclenche. Quetelet sera immédiatement forcé d'affaiblir le triptyque laplacien, et ce sera le réductionnisme qu'il laissera tomber. Malgré cela, le mécanicisme aura percé une brèche. Il n'aura pas facilement gain de cause, et des débats s'en suivront. Le point culminant

3. Des exemples de couples de *themata* fournies par Holton sont : la quantification de la charge de l'électron (donc atomisme plutôt que continuité), la quête de simplicité dans les particules élémentaires (simplicité versus complexité), et bien d'autres.

de notre analyse de cette confrontation de pratiques et de méthodes sera atteint en économie par le débat Walras-Levasseur sur les mathématiques et la liberté, cette fois autour d'un autre point du triptyque, les mathématiques comme Langue de la Nature.

Le mécanicisme sera finalement contraint de réduire ses ambitions et le rêve queteletien d'appliquer une méthodologie des sciences naturelles aux sciences humaines n'aboutira pas au résultat recherché. La résistance au mécanicisme sera l'occasion d'une deuxième influence transdisciplinaire, cette fois des sciences de l'homme sur les sciences naturelles. En effet, Maxwell, en travaillant sur la théorie cinétique des gaz, appliquera des méthodes statistiques comprises dans un sens épistémologiquement proche de celui de Quetelet (Porter, 1981). Au cours de son travail de modélisation, il se heurtera au paradoxe représenté par le démon de Maxwell, une expérience de pensée qu'en jouant sur les propriétés microscopiques du comportement atomique permet de remettre en doute le deuxième principe de la thermodynamique. Ce paradoxe sera alors l'occasion pour Maxwell de jouer la carte de la régularité à grande échelle qui se trouve être compatible avec une irrégularité microscopique pour affirmer que la régularité statistique ne prouve rien quant au comportement individuel.

À ce moment, la discussion sur la liberté et sa compatibilité avec la science est de mise dans la communauté des physiciens : le débat autour du mémoire de Boussinesq permet de l'illustrer efficacement. C'est un débat dont les origines ne sont pas forcément proches de celles du débat queteletien, et qui puisent plutôt directement chez Laplace, mais qui se mêle au questionnement queteletien, parfois par simple confusion des enjeux. Dans un sens partiellement différent, Boussinesq comme Maxwell (et une partie des auteurs qui succèdent à Boussinesq) sont à plein titre des champions du mécanicisme. Contraints de concilier leur conviction sur la liberté avec leur pratique de physiciens ils contribuent à un affaiblissement du mécanicisme par analogie avec ce qui s'est passé en sciences de l'homme. Nous allons donc analyser ce débat et en ressortir le chevauchement avec celui sur les statistiques, ainsi que les points de contact. La controverse arrivera à son terme sans véritablement désigner de vainqueur au moment où les enjeux vont changer et des nouvelles formulations de ce qu'est un modèle mathématique prendront forme (nous pensons par exemple au convention-

nalisme de Poincaré et Boutroux⁴). L'issue du débat verra donc apparaître des nouveaux questionnements, et par le tournant qu'il implique marquera un point d'arrêt de cette thèse.

En résumant, dans ce premier chapitre introductif nous allons donner une grille d'analyse du *thema* de Laplace et poser les normes de son paradigme mécaniciste : déterminisme, réductionnisme, mathématiques comme Langue de la Nature. C'est ce que nous allons appeler mécanicisme laplacien⁵.

Le chapitre suivant sur Quetelet permettra de démarrer le cœur de la thèse par une discussion sur l'émergence du *thema* mécaniciste en sciences humaines : l'astronome Quetelet y importe un mode de pensée de physicien, et il rencontre une résistance.

L'échange entre Walras et Levasseur (troisième chapitre) ouvrira un nouveau terrain de confrontation pour ce débat, au moment où la lutte intellectuelle prend une forme particulière, dans les mains des économistes.

La suite de cette thèse sera dédiée à la discussion maxwellienne et au débat autour du mémoire de Boussinesq, qui montrent l'existence d'une discussion sur la liberté en physique, partiellement mélangée avec le débat queteletien, et qui permet de discuter le 'retour de la vague' mécaniciste. Ainsi les deux débats, de Quetelet d'un côté, de Boussinesq de l'autre, referment une période de ferment autour du *thema* mécaniciste et de son conflit avec l'idée de libre arbitre.

Cette articulation présente deux caractéristiques : d'un côté elle situe dans un sillon clairement interdisciplinaire notre contribution : on a bien une influence de la physique sur les sciences de l'homme et vice-versa. C'est seulement dans l'échange mutuel que peut se comprendre notre débat. De plus, la lecture que nous proposons au travers du *thema* mécaniciste permet de justifier le mélange de questions sur la liberté qui sur le plan conceptuel peuvent paraître différentes. Le fait d'introduire explicitement un mode de raisonnement mécaniciste en sciences de l'homme déclenche un débat ;

4. Voir à cet égard Nye (1979)

5. C'est en partie une idée nouvelle dans les termes de Laplace, bien qu'on puisse trouver d'autres courants de pensée semblables. La nature cyclique des *themata* nous met à l'abri de toute autres pensées « proches » qu'on pourrait trouver à d'autres époques ; le mécanicisme en soi n'est probablement pas une complète nouveauté, mais il caractérise notre débat sous sa forme laplacienne.

finalement, le problème ne sera pas vraiment résolu, et on en arrivera à une sorte de paix armée. Cependant, il y aura eu des changements dans le niveau de compréhension et de sophistication du débat : en particulier, on en viendra à un assouplissement du cadre réductionniste (et cela en sciences de l'homme, mais avec Maxwell en physique aussi) En ce sens le va et viens du *thema* mécaniciste aura laissé une marque importante sur les sciences économiques par l'introduction de modèles quantitatifs de type 'loi' alors même que la 'vague rentrante' du mécanicisme en physique permettra avec la physique statistique de repenser le cadre réductionniste.

En même temps, on parviendra à un changement dans la compréhension des mathématiques en économie avec l'interprétation parétienne qui succède à celle de Walras et par contre à une tendance à modéliser en de termes déterministes tout autant en physique qu'en économie politique. La nouvelle compréhension des mathématiques comme un pur instrument par Pareto rend de fait le débat sur la liberté non pertinent à ses yeux.

La thèse s'insère dans une visée interdisciplinaire entre l'histoire des idées économiques et l'histoire de la physique. En vue du moindre cloisonnement disciplinaire et des bornes 'molles' du débat sur la liberté qui nous intéresse, nous allons abondamment déborder sur les sciences de l'homme dans un sens plus vaste que simplement l'économie. En ce sens, nous pensons pouvoir aussi apporter une contribution à l'histoire des statistiques, ainsi qu'à l'histoire du concept de déterminisme.

La délimitation temporelle choisie se justifie par la présence des deux débats complémentaires, celui autour des travaux de Quetelet en ouverture, et celui autour du mémoire de Boussinesq en conclusion.

Le mémoire publié par Boussinesq, ainsi que certains des commentaires qui lui sont adressés, par exemple par Renouvier, ou encore par Fouillée reviennent sur le problème de la compatibilité entre statistiques et libre arbitre. Visiblement les deux débats étaient perçus comme ayant une certaine proximité logique.

S'il est vrai que les termes de la discussion et l'enjeu ne sont pas tout à fait les mêmes, Boussinesq s'intéresse à un problème concernant la physique de filiation laplacienne, et lié à la forme mathématique, alors que Quetelet s'intéresse à un constat empirique, la régularité des moyennes, ils ont tout de même des points communs. Tout particulièrement les deux débats adressent

la question de la compatibilité entre lois naturelles (déterministes) et libre arbitre des agents.

En ce qui concerne Quetelet, l'espoir de quantification qui faisait resurgir des débats sur la liberté était nourri par un outil nouveau, les statistiques, qui permettaient la mesure de certains faits sociaux, ainsi que la mise en évidence de régularités macroscopiques sur l'ensemble de la population (Desrosières, 2008b,a). Quetelet est aussi le premier à disposer d'une abondance et richesse de données statistiques, ce que Hacking (1990) appelle « avalanche of printed numbers », permettant une généralité du discours statistique qui n'a pas d'équivalent préalable. Le terme de 'physique sociale', choisi par Quetelet, témoigne néanmoins d'un développement et d'une indépendance disciplinaire à peine ébauchés pour les sciences humaines : ce n'est pas que les auteurs n'étaient pas conscients de la différence qui courait entre sciences de la nature et sciences de l'homme. Cependant, le modèle de référence du développement de nombreuses sciences était encore, en la première moitié du XIX, façonné sur le modèle physique, et s'y inspirait fortement (Le Gall, 2008; Israel et Ingrao, 1990; Mirowski, 1989). Le développement progressif d'une méthodologie propre se fit par la suite, en découvrant au fur et à mesure de nouvelles limites épistémologiques, qui, par leur particularité, caractérisaient les nouvelles sciences humaines de façon différente des sciences naturelles (Berthelot, 2001).

Les auteurs majeurs auxquels nous nous référons sont Quetelet, Bousinesq, Walras et Maxwell ; des parties importantes du travail concernent aussi l'œuvre de Cournot, Levasseur, le milieu intellectuel dans lequel baignait Maxwell, ainsi qu'une variété d'auteurs ayant contribué aux débats que nous intéressent. Le choix des auteurs se justifie pour la plupart par rapport à leur contribution au débat.

Nous allons donc travailler sur une période qui couvre approximativement la deuxième moitié du XIX siècle avec quelques débordements au début du XX-ème. La date initiale n'est pas nettement définie : les années 1860 marquent une diffusion importante des travaux de Quetelet, et la décennie successive est celle des éléments d'économie politique pure, et de la naissance du marginalisme. De plus, les travaux de Maxwell sur la théorie cinétique des gaz couvrent approximativement une période allant de 1860 à 1870, alors que la décennie successive permet à ses idées de se répandre,

et à Maxwell de se confronter avec ses adversaires intellectuels (il meurt en 1879). Le débat autour du mémoire de Boussinesq aura lieu entre 1878 et 1882 environ. Le flambeau de la physique statistique sera repris par Boltzmann (qui lui mourra en 1906). Le cœur du travail, la période 1860-1890, inclut donc les débats sur la liberté de Walras, Maxwell et Boussinesq.

Dans la période qui suit, l'approche conventionnaliste de Boutroux et Poincaré à l'épistémologie contribuera à baisser l'intérêt pour des apports comme celui de Boussinesq. Similairement, le passage du flambeau de Walras à Pareto permettra d'oublier la querelle sur la compatibilité entre mathématiques et liberté, dans la mesure où l'approche paretienne aux mathématiques n'a rien de la foi un peu naïve de Walras.

Nous nous arrêtons donc au moment où le contexte épistémologique change en physique, autant qu'en économie.

Géographiquement, nous nous occuperons du monde francophone. Maxwell représente une exception dans la mesure où il est, tout comme Walras pour l'économie, la figure la plus éminente de la physique de son temps, ayant contribué personnellement au débat sur la liberté, et étant directement relié au débat autour du mémoire de Boussinesq.

En ce qui concerne Boussinesq et Maxwell, nous les avons classés tous les deux sous l'étiquette de physiciens, bien que Boussinesq ait majoritairement contribué aux mathématiques, et que Maxwell ait contribué aux deux disciplines. La séparation disciplinaire très compartimentée qui caractérise la recherche contemporaine, n'était pas présente, au même titre et au même degré qu'elle l'est aujourd'hui, peu importe le domaine, et cela pour plusieurs raisons, dont certaines, qui concernent l'étendue des domaines disciplinaires, nous paraissent évidentes. Cela implique entre autres qu'il était relativement courant, par rapport à notre époque, qu'un savant se place par son expertise à la croisée de plusieurs domaines du savoir, voir même qu'il recouvre des nombreux domaines disciplinaires à la fois.

La question de la compatibilité entre déterminisme et liberté individuelle n'était certainement pas propre à la période que nous concerne : il s'agit probablement d'un des thèmes les plus anciens de la philosophie occidentale, qui a connu toute sorte de déclinaison possible, et qui a fait couler de l'encre pendant des siècles (Priarolo, 2011).

Il existe un nombre remarquable de significations possibles du mot déterminisme ; Sobel (1998) arrive à en proposer quatre-vingts-dix. Nous proposons de considérer le mot 'déterminisme' comme l'affirmation qu'il existe un seul futur compatible avec l'état présent, c'est-à-dire un seul futur possible (éventuellement un seul passé aussi).

La nouveauté qui caractérise notre période et qui relance ce vieux débat sous un angle nouveau est la disponibilité de méthodes quantitatives applicables aux sciences humaines, en particulier les outils statistiques et probabilistes. Cette méthode permet de dévoiler des régularités dans les faits sociaux (mariage, suicide, envois postaux, taille des conscrits, ...) qui suggèrent la présence de lois sociales. De telles lois entrent potentiellement en conflit avec le libre arbitre. Statistiques et probabilités ont une histoire ancienne et des origines qui datent de bien avant le XIX siècle (Hacking, 2002; Stigler, 1986; Gigerenzer, Swijtink *et al.*, 1989; Krüger, Gigerenzer *et al.*, 1990; Rohrbasser, 2001; Daston, 1988); néanmoins, au XIX les statistiques gagnèrent en importance, grâce surtout aux travaux d'Adolphe Quetelet en un premier temps, puis d'une variété grandissante d'économistes, géographes, sociologues, démographes, naturalistes qui apprirent à utiliser les données sur les populations comme un puissant outil au service d'une science de l'homme désormais quantitative (Porter, 1986).

Depuis les lumières écossaises en tout cas le rêve d'appliquer à la 'philosophie morale' les méthodes de la 'philosophie naturelle' avait été au centre des préoccupations des philosophes (Besomi et Rampa, 2000, p. 32)⁶. Cette idée avait beaucoup à voir avec la possibilité de formuler les principes de la philosophie morale sous la forme de lois simples et inéchangeables, ce qui inévitablement pose des difficultés de conciliation avec l'idée de la liberté d'action des individus que de telles lois prétendent de décrire.

Notre analyse de Quetelet s'insère dans ce creuset qui façonne une nouvelle compréhension des lois et des régularités. Nous pensons que Quetelet pense les statistiques suivant un changement de perspective important qui révolutionne la manière de comprendre ce que les statistiques font et signifient.

À partir des travaux de Quetelet, la question de la liberté individuelle se posa aussi sous une nouvelle facette, et avec une urgence marquée :

6. Voir aussi (Schumpeter, 1983, p. 171-173)

il s'agissait en particulier de comprendre dans quelle mesure les régularités qu'on observait dans les moyennes sur des données très disparates étaient compatibles avec la liberté individuelle. Si ces régularités faisaient bien espérer quant à la possibilité de décrire le monde social par des lois d'ensemble, elles pointaient aussi directement sur la question de la liberté de l'individu face au Léviathan. Quelle liberté reste à l'agent pris dans le mécanisme social ? Quelle contrainte à la liberté individuelle imposent des régularités à grande échelle, voire de véritables lois macrosociales (Lottin, 1908a, 1911) ?

Quetelet, par son image de l'homme moyen, engendrera un débat autour de la régularité qui considère le caractère moyen d'une population comme étant chargé d'une valeur normative : l'homme moyen est pour lui le représentant d'une essence d'un peuple ou d'un groupe. Par la suite, avec les travaux de Galton (1886) notamment, l'accent sera davantage posé sur les individus exceptionnels, qui se situent dans l'une des queues de la distribution gaussienne. Ce changement de perspective implique un focus sur les individus singuliers plutôt que sur les groupes, et un abandon du cadre de réflexion de Quetelet. Pour cette raison nous n'aborderons pas cette prolongation du discours.

En physique et partiellement en les sciences naturelles (par exemple Claude Bernard⁷), la question du déterminisme se posait avec une urgence toute particulière : il s'agissait dans ce deuxième cas de concilier une nature microscopique, des phénomènes 'atomiques' (ou prétendument tels) qui étaient en général pensés comme déterministes, avec des individus macroscopiques, les hommes, qui étaient doués d'une liberté d'action difficile à récuser.

En ce sens, le débat sur la compatibilité entre analyse scientifique et

7. Un paragraphe d'une clarté frappante à ce propos mérite d'être mentionné

Il faut admettre comme un axiome expérimental que chez les êtres vivants aussi bien que dans les corps bruts les conditions d'existence de tout phénomène sont déterminées d'une manière absolue. Ce qui veut dire en d'autres termes que la condition d'un phénomène une fois connue et remplie, le phénomène doit se reproduire toujours et nécessairement, à la volonté de l'expérimentateur. La négation de cette proposition ne serait rien autre chose que la négation de la science même. (Bernard, 2003 (1865), p. 69)

Nous retiendrons en particulier le rapport étroit que Bernard identifie entre déterminisme et possibilité de mener une enquête scientifique intelligible.

libre arbitre s'avéra une question commune et transcendant les frontières disciplinaires, capable de susciter des débats importants. Notre objectif sera d'analyser ces débats en reconstruisant leurs éléments principaux, afin de déceler les questions communes, mais aussi de signifier les différences importantes qui existent entre les enjeux épistémologiques des physiciens et des statisticiens.

On pourrait s'interroger sur la signification que les acteurs de notre débat accordent au mot liberté et libre arbitre. Le *Vocabulaire technique et critique de la philosophie* de Lalande (1926) mentionne plusieurs définitions du mot liberté, dont deux nous intéressent particulièrement. Elles sont respectivement

- « État de l'être qui ne subit pas de contrainte, qui agit conformément à sa volonté, à sa nature (p. 415) »
- « (Opposée au déterminisme) Puissance d'agir sans autre cause que l'existence même de cette puissance, c'est-à-dire sans aucune raison relative au contenu de l'acte accompli » C'est là un sens qui est plutôt celui qui caractérise nos débats.

Ces deux déclinaisons du mot vont se confondre par moments.

Il apparaît à nos yeux que le cadre de référence initial du débat sur la liberté ressentait fortement l'influence des sciences naturelles : Quetelet était un astronome et avait baigné dans l'épistémologie et la méthodologie des sciences naturelles bien trop longtemps pour ne pas leur emprunter une partie de l'outillage épistémologique. Il fut vite clair pour Quetelet que le nouveau défi, construire une science de l'homme, appelait à de nouvelles idées ainsi que des concepts, des difficultés, des intuitions, entièrement nouveaux. Cependant, l'ombre de la physique restait omniprésente, et les références continuelles à une physique sociale, étayées par de nombreuses analogies, témoignent d'une conception de la statistique comme d'une application de la science physique étendue à l'homme.

Quetelet avait été fortement influencé par la lecture, et vraisemblablement par les enseignements de Laplace et de Fourier (Stigler, 1986, p. 162). Cette influence se répercute sur son aptitude et sa méthodologie de travail. Quetelet intègre une pensée mécaniciste à sa propre démarche de statisticien. Beirne (1987, p. 1150) souligne également les influences indirectes de

Turgot et de Condorcet, ainsi que de Graunt et Petty. Quetelet aurait appris de ses auteurs « the general potential for the application of enumeration to social matter (ibid.) ». Nous pensons pouvoir affirmer que Quetelet, qu'il ait effectivement rencontré Laplace et bénéficié de son enseignement ou pas (ce qui semble probable, mais n'est pas certain), a baigné abondamment dans un milieu intellectuel redevable d'une image mécaniste du monde.

L'attitude mécaniciste queteletienne s'assouplit pourtant lors de l'application des statistiques aux sciences humaines, en laissant tomber l'un des éléments du triptyque laplacien, le réductionnisme. Quetelet demeure néanmoins le tenant d'une position épistémologique qui ne fait pas l'unanimité en sciences humaines, et qui est source de conflits. Des tels conflits dépassent en ampleur la trajectoire de vie de Quetelet. Des stratégies de conciliation sont alors ébauchées afin de relaxer la tension qui vient de se créer. Le débat sur la compatibilité entre régularités et liberté individuelle en est une image représentative. La question de la compatibilité entre liberté et régularités statistiques qui avait été au centre des préoccupations de Quetelet devient de moins en moins pressante, alors même que des stratégies de conciliation se clarifient. L'abandon en particulier d'un cadre de raisonnement réductionniste, voulant ramener les phénomènes de comportement agrégé à leurs constituants élémentaires, permet de concevoir un monde macrosocial 'coupé' et donc indépendant du monde microsocal, et de rétablir une compatibilité entre liberté individuelle et régularités des moyennes. S'il n'y a pas de raison de déduire des rapports nécessaires du macroscopique au microscopique, on n'est pas non plus contraints de nier la liberté face aux régularités des moyennes.

La différence que nous pensons déceler entre le déterminisme des physiciens et des praticiens des sciences humaines tient à l'articulation du microscopique et du macroscopique. Tout particulièrement où situe-t-on les 'lois' ? Au niveau microscopique ou bien au niveau macroscopique ? Il existe tout particulièrement des différences de tailles entre l'articulation micro/macroscopique de ces statisticiens et des physiciens. Pour les physiciens, le déterminisme des composantes microscopiques des êtres biologiques, dont l'homme, est en opposition avec la liberté des individus. Ainsi le risque encouru est de devoir réduire la liberté à une illusion, face au déterminisme des 'briques' dont nous nous composons. Il s'agit là d'un déterminisme qui vient de nous-mêmes, intime, et entièrement lié à l'homme

en tant qu'individu.

Le déterminisme des statisticiens est plutôt ambivalent sur ce plan : on peut le lire comme une contrainte venant du monde social. À travers le constat des régularités statistiques, on l'interprète comme des 'forces sociales', échappant entièrement à notre contrôle, s'impose aux individus en leur donnant des contraintes *externes*. Dans ce cas il s'agit d'un déterminisme *top-down*. En effet, le déterminisme qui semble découler des régularités statistiques n'est pas d'une manière évidente dû à nous, à notre nature ou à notre constitution, à notre chimie. Or cette impression d'externalité du déterminisme peut être accueillie, en pensant que les 'lois sociales' priment sur le niveau individuel et sont en ce sens en opposition à une volonté libre dont nous jouissons. Mais on peut tout aussi bien estimer que les régularités sont la conséquence d'autres lois, des lois qui agissent sur chaque individu pris singulièrement, mais qui demeurent pour quelque raison invisibles. Si tel est le cas, la régularité qu'on peut observer n'est qu'un écho d'un déterminisme sous-jacent. Bien sûr une telle idée est redevable du déterminisme *bottom-up* tel que le conçoivent les physiciens.

Le premier déterminisme est moins 'totalisant' : il n'est pas absolu, et laisse une certaine marge aux individus, pourvu que le lien réductionniste soit assoupli entre société et individu. Le deuxième par contre, venant de l'individu lui-même, se heurte directement à la possibilité de la liberté. Ce que l'on constate dans l'évolution du débat est un rangement progressif sur un front d'agnosticisme commode. Sans véritablement posséder de preuves particulières de l'origine des régularités, et sans avoir réellement écarté le danger du réductionnisme, les héritiers de Quetelet vont de plus en plus procéder en faisant abstraction de la question de la liberté. L'impression est que la question de la liberté est laissée prudemment s'étouffer sous une couche de données et de découvertes : plus la nouvelle science des statistiques parvient à se rendre nécessaire, moins il y a d'intérêt à soulever des doutes épistémologiques. Ainsi, le débat est de plus en plus confiné aux paragraphes philosophiques des préfaces d'ouvrages sur la statistique, ou l'on se ramène souvent à répéter quelques phrases rassurantes d'autorités en la matière. Le débat ne meurt pas véritablement, mais on parvient à une sorte de paix armée, dans laquelle les statisticiens de terrain, tout en étant informés de la dangereuse question de la liberté, jouent la carte de l'agnosticisme instrumentaliste. La liberté est certes en jeu de quelque façon, mais

peu importe. Au fond, comme dans nombre de querelles philosophiques, les scientifiques se révèlent assez opportunistes dans leur démarche, en puisant à une source philosophique parfois, parfois à une autre, en fonction du besoin du moment.

Il arrivera ainsi que des statisticiens de terrain, comme Levasseur, aient pu accepter comme suffisante la scission entre comportement individuel et agrégé en deux domaines en quelque sorte séparés, et venir ainsi 'à bout' du problème de la liberté. Ils acceptent une approche *top-down* (et ils sacrifient ainsi une certaine unité de la science); au contraire des philosophes intéressés à une vision unifiée de la science seront moins enclins à envoyer la question aux oubliettes.

Or, l'arrivée de l'économie mathématisée en France, avancée par Walras, ramenait le spectre d'une économie 'science naturelle' qui voyait dans une sorte d'individualisme méthodologique qui commençait à être ébauché dans les travaux des économistes marginalistes, le retour à une dynamique *bottom-up*, qui, au contraire de l'image *top-down* défendue par Levasseur, ne pouvait pas facilement esquiver la question de la liberté. Ramener les lois sociales aux individus, utiliser des mathématiques et des modèles mécaniques, voilà de quoi troubler la 'paix armée'. Tout le débat si habilement éludé sur la compatibilité entre liberté et nécessité revenait en puissance sur la scène. Sur le front des physiciens, la question de la conciliation liberté-nécessité, en même temps, faisait rage.

L'épisode bien connu du rejet de l'économie mathématique en France peut alors se lire comme le rejet d'un calque des sciences humaines sur la physique, perçu comme menaçant envers le choix stratégique qui sépare l'individu du comportement agrégé.

Ainsi Walras sera au centre d'une polémique sur la liberté 'qui ne se mets pas en équation'. Si d'un côté ces équations lui coûtent l'indifférence du milieu libéral français (Zylberberg, 1990), de l'autre l'économie en restera la science de l'homme la plus 'mécanique', et donc la plus à même d'être regardée, par ses propres auteurs, comme une 'physique sociale'. Un regard qui laisse des traces encore de nos jours.

La physique au cours du XIX connu des développements importants et va-

riés, cependant le cadre laplacien, mécaniste et réductionniste, demeurera une référence importante, quoiqu'appariée d'autres façons de comprendre la science, nous pensons en particulier au positivisme de Mach. Certes, dans le cas positiviste la question de la liberté cesse de se poser, mais le fait même que des auteurs continuent de s'interroger sur la question montre bien que ce cadre n'était pas systématiquement accepté, et peut être même minoritaire.

Au cours des années 1877-78, un débat éclata autour d'une possible échappatoire au déterminisme laplacien, identifié dans l'existence, pour une famille particulière d'équations, de solutions dites singulières : certaines conditions initiales permettent de trouver plus qu'une solution pour certaines équations de mouvement. Ce deuxième débat, lancé par un mémoire du mathématicien Joseph Boussinesq nous permet de photographier, à l'époque même de la dispute entre Walras et Levasseur, le débat tel qu'il a cours chez les physiciens.

Cette 'photographie' nous permettra de montrer que le concept même de déterminisme n'est pas le même chez Boussinesq et chez les statisticiens. Les termes du débat ont profondément changé et le problème de la compatibilité entre microscopique et macroscopique se pose sur un plan épistémologique différent, ainsi que la nature de la contrainte représentée par le déterminisme.

Cependant, des transferts conceptuels ont encore lieu, des transferts qui sont parfois la cause d'affrontements majeurs. D'un côté, on constatera que les débats sur la question de la liberté ont souvent lieu dans les mêmes revues, parfois dans un même article (Boussinesq lui-même mentionnera les régularités statistiques dans son mémoire), preuve d'une certaine confusion chez les acteurs mêmes de ces discussions. Cependant, une certaine indépendance prend lentement forme, et implique une structuration compartimentée qui tolère mal les intrusions du camp opposé.

Lors de l'introduction de l'outil statistique en physique, on sait que Maxwell s'inspira de Quetelet via un parcours quelque peu complexe (Porter, 1981). Quelques années plus tard, sollicité à s'exprimer sur la question de la liberté, Maxwell utilisera des arguments s'inspirant de ceux des statisticiens pour nuancer la portée du déterminisme sur le comportement individuel : tout aussi bien qu'en physique des régularités à grande échelle sont compatibles avec une « irrégularité » microscopique (les lois des gaz parfaits par

exemple sont compatibles avec un comportement microscopique erratique), des régularités à grande échelle en sciences humaines sont compatibles avec des individus libres.

Cette affirmation devient possible du moment où Maxwell s'appuie sur des démarches statistiques en imaginant un comportement microscopique indéterministe, qui permettrait cependant de retrouver les 'bonnes' lois à grande échelle, tout autant qu'un comportement déterministe. La connaissance du déterminisme macroscopique (le deuxième principe), implique alors un agnosticisme sur le niveau microscopique. Et si cela est vrai en statistique, il l'est aussi en ce qui concerne les régularités physiques (et vice-versa).

Ainsi un transfert d'outils statistiques en physique sera l'occasion d'importer aussi un affaiblissement du lien macroscopique et microscopique, et un regard différent sur la question du déterminisme.

Les lois de la nature physique pourront de lors s'interpréter moins comme des vérités et plus comme des approximations, un décalage de l'ontologie vers l'épistémologie calquée sur le statut des lois au sens des statisticiens.

1.1 Matériel et sources

Le matériel utilisé pour la rédaction de cette thèse a été sélectionné à partir d'un certain nombre de revues dans lequel nos débats ont majoritairement eu lieu. Dans la mesure où les débats que nous concernent se passent davantage sur des revues que dans des livres, nous en avons identifié un certain nombre et effectué une lecture systématique et exhaustive sur l'ensemble de la période envisagée⁸.

Afin d'alléger les références, nous proposons des abrégés des noms des

8. Grâce aux bases de données Gallica et Google Books, une partie des revues que nous mentionnons sont désormais disponibles *online*. Dans ce cas, la bibliographie est accompagnée d'une URL. Les nombreuses lacunes qui restent encore à combler dans la numérisation des revues de l'époque nous les avons remplies 'à l'ancienne' soit en allant consulter directement les sources primaires en format papier. Ainsi si aucune URL n'est disponible il faut entendre qu'à l'époque de notre dernière consultation il n'existait pas encore de version digitalisée de l'entrée bibliographique, sachant cependant que ce travail procède à une vitesse importante et il se peut que des failles aient été remplies entre temps. Les œuvres numérisées sont systématiquement citées dans la version (date de publication, éditeur) que nous avons trouvée *online* : ainsi, il n'y aura pas de doute sur quelles version, édition ou traduction a été consultée, puisque la totalité de l'information est fournie.

revues.

Voici dans la suite la liste des revues consultées, suivies de la période couverte, de quelques lignes explicatives et de l'abrégé choisi :

1. *Revue philosophique de la France et de l'étranger, (RPFE)* : il s'agit d'une revue généraliste, fondée en 1876, qui accueille des articles très divers et qui auberge notamment une partie du débat qui suit le mémoire de Boussinesq. Nous avons couvert la période allant de 1876 (fondation de la revue) à 1910.
2. *Journal des économistes, (JdE)* : le fief des économistes libéraux en France, il accueille des réactions à 'l'économie mathématique' et des nombreux débats concernant les statistiques et les idées de Quetelet. Nous avons couvert la période 1859-1910. C'est la période dans la bibliothèque de Walras (1859-1880), et des trente ans successifs.
3. *La critique philosophique, (CP)*, publié de 1872 à 1889 fut le journal fondé par Charles Renouvier qui fut entre autres l'auteur d'une large partie de ses articles, avec son ami Pillon. Nous avons couvert la totalité de la revue.
4. *La revue de deux mondes, (RDD)* Une revue pluridisciplinaire. Nous avons couvert la période 1860-1910.
5. *Revue d'économie politique, (REP)* publié depuis 1887, nous avons couvert la période 1887-1910.

En plus de ces cinq revues, une source de grande valeur a été la bibliothèque de Walras, qui conserve des livres rares très nombreux, ainsi que des tirés à part.

Finalement, nous avons pu consulter les archives de la bibliothèque de l'Institut de France qui conserve la correspondance de Boussinesq avec Saint-Venant, ainsi qu'avec des nombreux autres auteurs.

Chapitre 2

Introduction

*All science is either physics
or stamp collecting*
Ernest Rutherford

2.1 Macroscopique et microscopique en physique et en sciences humaines

Un thème récurrent, qui reviendra tout au long de ce travail, sera celui du rapport entre macroscopique et microscopique en physique et en économie. Il s'avère donc important de clarifier d'entrée les enjeux de ce débat ainsi que le terrain épistémologique sur lequel il s'articulera.

Cette section sert donc à dégager l'un des thèmes importants ainsi que le contexte historique dans lequel nous nous situons.

2.1.1 Observation, modélisation, confirmation

Le premier point que nous discuterons a trait à l'accès empirique au niveau macroscopique et microscopique respectivement en physique et en sciences humaines. Le parallèle que nous tissons ici, en suivant ce que Maxwell, Quetelet et bien d'autres ont avancé, sera atomes= individus pour le niveau "micro" et grandeur agrégés pour le macro (par exemple la température en physique, la taille des conscrits de Belgique pour les statistiques).

Le XIX siècle a été en physique le siècle de l'émergence et de l'affirmation du concept d'atome (Gruber et Martin, 2013). Néanmoins l'observation di-

recte des atomes était impossible. Elle reste d'ailleurs extrêmement difficile et indirecte de nos jours, au point qu'on peut légitimement se demander si d'aucuns ont déjà réellement 'vu' un atome.

En revanche, l'hypothèse atomique permettait déjà en la période qui nous concerne de formuler des hypothèses cohérentes sur le comportement de la matière. On veut dire par là que l'idée de la matière comme un agrégat de petits objets en mouvement s'est révélé une hypothèse de travail extrêmement fertile et capable de donner naissance à nombre de théories en physique et en chimie (Thuillier, 1988), cela bien avant qu'on dispose d'une preuve de l'existence des atomes. Par exemple, l'hypothèse atomique permettait une théorie des propriétés chimiques des éléments, une compréhension de la nature de la chaleur, et permettra au début du XX siècle une compréhension de la nature des lignes spectrales, ou bien encore du mouvement brownien. Ainsi 'voir les atomes' peut devenir superflu vis-à-vis de la croyance (raisonnée) en une théorie. Son succès prédictif suffit à justifier une telle confiance. Ce pouvoir explicatif, à la fois en physique et en chimie, représentait l'argument le plus puissant de ceux qui défendaient les idées atomistes. Il permettra en fin de compte à ce camp de l'emporter, bien avant de disposer de mesures ou d'observations directes (telles que celles qu'on pourrait avoir avec un microscope à effet tunnel).

Or, l'absence d'une observation directe, et donc la nature partiellement spéculative de l'hypothèse atomique, permettaient une liberté importante concernant les hypothèses sur comment les atomes étaient faits, quelle composition, structure, interaction ils avaient, etc. comme le prouve la prolifération d'idées originales mais finalement fausses sur les atomes (pensons aux vortex de Kelvin, aux idées de Brodie sur les 'atomes mathématiques', aux spéculations de Prout sur l'hydrogène comme composante fondamentale de la matière, voir aussi Thuillier (1988, p. 227-242)).

La situation était bien moins claire en ce qui concerne les statisticiens et les économistes. Les données statistiques sur lesquelles se basait Quetelet étaient des agrégés d'individus dont on regardait une propriété particulière et dont on effaçait l'individualité par le calcul des moyennes. Leur nature était donc en ce sens 'macroscopique', et l'analogie avec la physique est assez bonne (ce sur quoi on a des données empiriques est le niveau macroscopique). Cependant, les grandeurs observés par Quetelet, et qui permettaient

d'observer des régularités, étaient des grandeurs agrégées, obtenues à partir d'un grand nombre d'observations ponctuelles. Si en physique on avait des méthodes de mesure macroscopiques qui pouvaient se passer du niveau microscopiques (la température par un thermomètre est un exemple, et ne nécessite nullement de passer par la mesure individuelle des atomes), en statistique on n'avait aucune mesure directe en ce même sens du niveau macroscopique. C'est donc le mot même d'observation qui a un caractère foncièrement différent. Observer un thermomètre qui donne la température d'un liquide est une opération qui certes demande l'existence d'une théorie de la chaleur, et qui est donc imprégnée de cette même théorie, mais elle peut au moins se passer de toute théorie sur le comportement atomique. Hélas, cela ne fonctionne pas symétriquement en sciences de l'homme : une 'observation' de la taille des conscrits, quoique cela puisse vouloir dire, demande de passer par une mesure individuelle d'un grand nombre d'individu et par un procédé d'agrégation de ces données, afin de construire l'objet théorique qui est ensuite sujet aux lois sociales. La distance entre l'observation directe (la taille des conscrits Franz, Hubert et Paul disons), et la grandeur associée 'taille des conscrits' est bien moins directe que la mesure d'une température, puisqu'il n'existe aucun moyen de mesurer une grandeur agrégée sans passer par les éléments singuliers.

Une autre différence substantielle résidait dans la possibilité de formuler de véritables lois sociales ou économiques dont on puisse observer des conséquences empiriques. En effet, malgré des nombreuses déclarations sur la possibilité d'énoncer des lois sociales, il n'y avait aucun exemple, en tout cas à l'époque que nous concerne, de véritables lois sociales dont on pourrait mesurer les effets et obtenir une confirmation empirique. Quetelet tentera, il est vrai, d'en ébaucher quelques-unes, mais le succès obtenu restera très modeste. D'un côté donc la distinction des niveaux macroscopique et microscopique en sciences humaines et plus problématique qu'en physique, puisque les données macroscopique sont systématiquement construites par agrégation. De l'autre on ne parvient pas - à l'époque - à formuler des véritables lois quantitatives qui dépasseraient le constat d'une régularité.

La différence la plus importante réside probablement dans le fait que les statistiques et l'économie ont constamment sous les yeux le comportement individuel des agents réels, erratique, complexe et duquel il est difficile de dégager des propriétés stables et constantes. Cela risque de s'avérer plu-

tôt un désavantage qu'un atout : en effet, l'idée d'atome qui circulait chez les physiciens de l'époque est une idée reconnue aujourd'hui comme erronée. Il s'agissait en gros de petits corpuscules non composites, capables de se combiner entre eux pour former des molécules, chacun se comportant comme une petite bille élastique, dont la taille était suffisamment petite pour pouvoir négliger les chocs réciproques. Cette image simpliste ne correspond pratiquement en rien avec l'image articulée et complexe qui ressort d'une description quantique de l'atome, une description pourtant correcte en vue des données expérimentales dont on dispose actuellement. Et pourtant l'idée d'atomes comme de petites billes, une idée redevable aux intuitions des philosophes grecques Démocrite et Épicure plutôt qu'à une quelconque base empirique, fut de grande utilité aux physiciens qui cherchaient à construire un modèle cohérent de la matière. Le fait de disposer d'une image intuitivement simple et facile à traiter répondant à un comportement rigidement déterministe et prévisible était un avantage considérable, mais aussi un incitatif important : la force d'un modèle efficace repose souvent sur le fait d'être basé sur une liste réduite d'hypothèses simples et puissantes. En même temps, l'absence de contraintes liées à l'observation directe permettait une certaine liberté spéculative : on pouvait attribuer aux atomes des forces répulsives à courte distance, pour ne donner qu'un exemple, d'une forme mathématique ad hoc, dont le seul but était de donner des calculs commodes, au lieu de se conformer à des observations qui auraient été déconcertantes. Si les physiciens du XIX avaient eu la possibilité de directement observer le comportement déroutant et imprévisible des atomes quantiques, il est fort probable que cela aurait été plus un obstacle qu'un avantage dans leur entreprise.

C'est quelque part la situation dans laquelle se trouvent les statisticiens et les économistes, qui en ne disposant d'aucun substrat théorique efficace afin de classer et expliquer leurs observations sont confrontés à la variété des individus, et s'efforcent de parvenir à des hypothèses crédibles qui puissent permettre une certaine classification.

Ainsi, d'un côté les économistes et les statisticiens ne peuvent pas vraiment prétendre à observer des grandeurs macroscopiques au sens du thermomètre d'un physicien. De l'autre ils rencontrent d'énormes difficultés à spéculer librement sur la nature des individus singuliers, contrairement à ce qui s'avérerait possible avec les atomes.

L'accès empirique se révèle un problème majeur dans le débat sur le libre arbitre. En physique le problème se situe du côté microscopique : les lois mécaniques dont on dispose, capables de décrire le mouvement de corps simples, sont des lois déterministes ; or si l'on adhère à un réductionnisme de fond, ce qui est le cas de nombre de physiciens, ces lois simples sont censées régler le comportement des atomes. Le débat autour du mémoire de Boussinesq dont nous allons discuter plus loin, trouve son origine dans des tentatives de révéler une faille dans le déterminisme rigide des fondements microscopiques de la physique, afin de pouvoir ensuite disposer d'une échappatoire permettant d'esquiver l'incompatibilité entre détermination et liberté de l'agent.

En économie et en les sciences de l'homme, la situation est plus complexe. La question de la compatibilité entre liberté individuelle et déterminisme se pose comme un conflit entre niveaux de descriptions. La régularité statistique est perçue comme une observation empirique d'une ou plusieurs lois (dont on n'est pas encore capables de donner la formulation précise) agissant sur la totalité des individus. L'idée la plus répandue est que la sommation et les moyennes effacent le caractère contingent du comportement humain et font ressortir les lois du monde social.

De ce fait, on se questionne sur la possibilité de déduire quelque chose à partir des régularités et de lois macroscopique qu'on pense y rattacher, à propos des (hypothétiques) lois du niveau microscopique, c'est-à-dire de l'individu. Le contraste surgit entre le déterminisme apparent du macroscopique et l'intuition que l'indéterminisme (et le libre arbitre donc), s'il existe au niveau microscopique, devrait forcément s'observer aussi au niveau macroscopique. Un tel raisonnement s'inscrit partiellement dans l'optique du réductionnisme ; ce sera justement en affaiblissant le pont entre niveaux, c'est-à-dire en niant le réductionnisme, que les statisticiens résoudre temporairement le problème du déterminisme.

Un problème important réside dans le fait que la constatation d'une régularité n'est pas suffisante à formuler une loi causale. Le déterminisme des statisticiens n'est donc pas un légalisme au sens des physiciens. Les physiciens disposent d'une loi, dont la justification repose sur l'observation de certaines régularités, mais qui se justifie entre autres par son pou-

voir explicatif et, surtout, prédictif, ainsi que par l'engagement ontologique qu'elle suppose. Au contraire, les régularités statistiques ne permettent que très peu de pouvoir prédictif (en gros, elles permettent de prévoir le statu quo), et aucun pouvoir explicatif (pourquoi ont lieu certains phénomènes). La constatation de Quetelet d'une régularité dans le nombre des suicides n'explique en rien pourquoi les choses se passent ainsi.

Faute d'une explication, l'interventionnisme social, qui est le but des études queteletiennes, n'est pas possible. De plus, faute de lois causales, il est difficile de clairement expliquer ou se situe le déterminisme. En physique, le démon de Laplace, s'il pouvait avoir accès à certaines informations, pourrait prédire le futur du monde. Mais à quel genre d'information devrait accéder le 'démon de Quetelet' ? L'absence de lois causales est une absence d'un terrain clair sur lequel fonder une discipline. La physique permet un certain genre de spéculation sur comment est fait le monde, justement grâce aux lois causales qu'elle permet de postuler (Esfeld, 2009) (indépendamment de la question de savoir si de telles lois sont vraies, voir aussi Daston et Galison (2007)) ; rien de tel n'est possible en sciences humaines.

Le problème n'est pas résolu de nos jours ; la constatation de certaines régularités statistiques, telles que le rapport entre revenu familial et niveau d'instruction (supposant que l'on reste uniquement au niveau de la corrélation statistique ; d'autres possibilités de parfaire l'analyse existent) ne permet pas de conclure en faveur de la détermination individuelle en ce sens, ni de mesurer de quelques façons un degré de liberté. On constate une corrélation entre deux données, et l'on a raison de croire en un lien causal, mais ce lien est d'une nature peu claire. Qu'est-ce que cela veut dire, par exemple, qu'un revenu de 20% plus faible diminue de 0.8 les années de formation des enfants ? Ce n'est clairement pas une donnée qui peut s'appliquer directement à chaque individu, mais bien une moyenne ; quelle part de liberté laisse cette moyenne à chaque individu dans le choix de formation de ses enfants, indépendamment du revenu ? Quelle contrainte ? La constatation représente certainement une contrainte, mais l'incapacité d'évaluer la portée de cette contrainte reste un problème difficile, et l'on demeure toujours incapables de dire ce que cela signifie exactement pour la liberté individuelle (Bouveresse, 2004).

La difficulté de rabattre la régularité macroscopique sur un degré de con-

trainte microscopique sera affrontée en physique statistique, par le remplacement, au niveau microscopique, d'une description déterministe en termes de trajectoires par une description probabiliste, en termes de distributions. Des particules ayant chacune une trajectoire, une position et une vitesse clairement définies deviennent des variables aléatoires, et des chances d'observer certaines distributions. La raison n'est cependant pas liée à une hypothétique observation d'un comportement aléatoire au niveau microscopique ; il s'agit plutôt de l'impossibilité de traiter analytiquement un problème bien trop complexe et d'un choix délibéré de remplacer des 'vrais atomes' par des 'atomes moyens'.

Cette stratégie montre qu'il est possible de réduire des lois parfaitement déterministes à des distributions aléatoires, pourvu qu'on traite un nombre suffisamment grand de particules. En partant d'un niveau microscopique régi par des hypothèses aléatoires et des comportements qui ne répondent pas à une dynamique déterministe on peut néanmoins retrouver des lois d'ensemble, un « comportement agrégé des atomes » répondant à des régularités à l'apparence déterministe. Cela signifie qu'il est possible de déduire un comportement macroscopique régulier en partant d'un indéterminisme microscopique tout aussi bien que d'un déterminisme, et donc que la régularité macroscopique ne nous donne aucune information exploitable sur la réalité sous-jacente. S'il est possible de déduire un comportement macroscopique déterministe comme conséquence d'un probabilisme, alors la régularité macroscopique en sciences humaines ne demande pas à être justifiée par des hypothèses déterministes sur le comportement individuel. En ce sens, la mécanique statistique permettra à Maxwell, justement par analogie, d'affaiblir l'argument queteletien de la détermination des agents.

Si les statistiques ont marqué de leur sceau le développement de la physique, il est aussi vrai que l'économie a été profondément influencé par un héritage physicien. Il a été souligné par Zamagni et Screpanti (2000, p. 172-173) que la révolution marginaliste se caractérise par un abandon des 'sujets collectifs', les classes sociales ou les corps politiques, en faveur des individus ou des groupes restreints d'individus. En même temps, Zamagni et Screpanti soulignent aussi la non historicité et l'assimilation à la physique et aux sciences naturelles des lois économiques. Cette dichotomie suggère donc d'un côté une centralité de l'individu comme unité de

base du discours économique, et de l'autre un déterminisme des lois économiques. La conséquence qui paraît en découler est le déterminisme de l'action individuelle, ce contre quoi s'insurgeront certains adversaires de Walras, notamment Levasseur.

2.2 Le déterminisme en sciences naturelles et le déterminisme en sciences humaines

Le deuxième point à discuter concerne la déclinaison du mot déterminisme, dont nous voulons maintenant clarifier la signification. Le but d'une telle clarification est de mieux comprendre pourquoi et de quelle façon le déterminisme s'oppose à la liberté individuelle. Nous allons aussi essayer de comprendre dans quelle mesure le déterminisme dépend, voir est une conséquence des lois naturelles. Pour ce faire, il est nécessaire de réfléchir sur le sens que le déterminisme prend en sciences naturelles et en sciences humaines.

Le *thema* du mécanisme laplacien, en envahissant le territoire des sciences de l'homme, provoque des débats, et permet la constitution d'un 'compromis non concordé' entre la pratique laplacienne et queteletienne et une centralité de la question de la liberté clairement revendiquée par les statisticiens. Il n'y aura jamais un accord explicite ou un consensus revendiqué sur la question du déterminisme des lois sociales. La clarification du statut des 'lois sociales' et du 'déterminisme social' a plus à voir avec une lente progression vers ce qu'on a qualifié de paix armée qu'avec une tournure épistémologique assise sur des progrès philosophiques décisifs. Sans avoir véritablement mis fin à la question de savoir si et dans quelle mesure la régularité macrosociale influe sur le comportement individuel, les acteurs des nouvelles sciences humaines et des statistiques réclameront de plus en plus leur indépendance, quitte à se contenter d'une position floue qui met à l'écart la question sans la résoudre. Par exemple, lors du septième congrès de la statistique en 1869, on discutera des « limites de la statistique (p. 58) », mais seulement pour en conclure que « les limites de la statistique [...] doivent être abandonnées à l'investigation libre de tous ceux qui s'en occupent (p. 59) ». Cette position accommodante est à notre sens paradigmatique de l'attitude qui s'instaure dans le milieu des statisticiens à propos du nouvel instrument. Certes, il pose des questions difficiles au ni-

veau épistémologique, certes il nous interroge sur des questions profondes, telles que la liberté des individus, mais on peut procéder à son usage sans problèmes ; ce n'est au fond qu'un instrument¹ !

Si l'on peut déceler une certaine naïveté épistémologique dans cet instrumentalisme, on ne peut éviter de constater qu'il est tacitement accepté par des nombreux statisticiens. L'utilité et l'efficacité des instruments statistiques devaient facilement l'emporter sur les soucis de quelques philosophes ; d'autant qu'on pouvait trouver chez certains de ses mêmes philosophes une feuille de vigne suffisamment grande pour y cacher les doutes que la question de la liberté soulevait.

Cependant, les difficultés restaient bien présentes, et le paravent sensé protéger la nouvelle discipline n'avait que partiellement accommodé les choses. En particulier, les grands nombres étaient souvent invoqués comme argument qui séparait les individus des conséquences d'un déterminisme des lois sociales. Que les sciences humaines, ou pour reprendre les mots de Quetelet la 'physique sociale' demandaient un traitement et une attention particulière du concept de déterminisme et de ses rapports avec le libre arbitre, fut clair déjà aux yeux de Quetelet lui-même (Quetelet, 1847, p. 2-3). Cependant, la différence entre la position laplacienne et celle d'un Levasseur, par exemple, demandera une période de maturation relativement longue, qui caractérisa l'affirmation des sciences humaines comme une discipline à part entière. De plus, l'argument des grands nombres, tout comme d'autres arguments semblables, n'esquivait les difficultés que dans la mesure où l'on évitait soigneusement toute modélisation des individus eux-mêmes. Tant que la régularité statistique était étudiée comme telle, on pouvait éviter de se poser davantage de questions, mais dès qu'on essayait de modéliser les individus, pour faire ressortir de leur comportement agrégé des lois sociales, la question de la liberté revenait violemment à l'avant de la scène.

Du côté des physiciens, qui avaient une vision (mais pas une pratique) *bottom-up*, la question du libre arbitre était aussi débattue ; ainsi, en venir à

1. Par exemple on peut lire dans un article du journal des économistes dix ans plus tard que la statistique est « un instrument, qui veut, pour être manié, une main exercée. Le rasoir coupe la barbe, mais il peut aussi couper la figure. Et celui qui s'écorche, doit-t-il raisonnablement s'en prendre au rasoir ? Irez-vous briser les machines, en disant qu'elles ne servent pas à l'usage pour lequel elles ont été inventées, par la raison que par-ci, par-là, quelque ouvrier malavisé y laisse le bras ou la jambe ? (Gabelli, 1879, p. 186) »

une telle approche chez les adeptes des sciences humaines ne pouvait que reproposer un vieux problème.

Au cours du débat sur le libre arbitre, il arriva à maintes reprises que des auteurs reviennent sur des positions proches de la physique, inspirés pour la plupart d'un désir d'unité entre les sciences. De tels points de contact, qui demeuraient possibles à une époque de moindre cloisonnement disciplinaire, eurent une certaine importance sur le développement de l'économie notamment, la plus 'naturelle' des sciences humaines, mais aussi sur la physique. Et s'il est indéniable que la séparation disciplinaire a contribué à la maturation des sciences humaines et de la physique, il est tout aussi vrai que les rapprochements et les contacts ont été l'occasion d'enrichissements mutuels comme dans le cas de la physique statistique de Maxwell.

2.2.1 Le déterminisme naturel au sens de Laplace

Il est courant d'opposer, dans les travaux contemporains, la notion de probabilité (comprise donc comme synonyme d'indéterminisme) avec celle de déterminisme (Hacking, 1983; Earman, 1986; Kane, 2002; Doyle, 2010). Pourtant ces deux concepts ne sont pas antithétiques. Ils ont même une histoire commune, voire une certaine connivence. L'usage des probabilités alla de pair avec la mobilisation, pour bon nombre de mathématiciens, d'un arrière-plan déterministe.

L'idée de déterminisme naturel, qui nous intéresse, formulée par Laplace, et qui projette son ombre tout au long du XIX siècle (Israel, 1991) n'exclut pas le calcul des probabilités. Au contraire, Laplace introduit son démon dans un traité de probabilité; il sert à signifier que le probable coexiste avec le déterminisme.

Suivant Israel (1991) le déterminisme au sens de Laplace ne découle pas de l'observation, mais d'un postulat métaphysique sur la manière dont est fait le monde. Laplace estime que tout phénomène dans la nature répond à des lois universelles, et que ces lois peuvent s'écrire en forme mathématique, celle-ci étant une forme déterministe. Mais l'adhésion au déterminisme est une pétition de principe, plus qu'un constat ou qu'une déduction de quelques genres. Ce n'est pas un fait d'observation, mais bel et bien une posture métaphysique.

À propos du déterminisme, Laplace nous a légué, une page devenue célèbre.

Nous devons donc envisager l'état présent de l'univers comme l'effet de son état antérieur, et comme la cause de celui qui va suivre. Une intelligence qui pour un instant donné connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements de plus grand corps de l'univers et ceux du plus léger atome : rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir, comme le passé, serait présent à ses yeux. L'esprit humain offre, dans la perfection qu'il a su donner à l'Astronomie, une faible esquisse de cette intelligence. Ses découvertes en Mécanique et en Géométrie, jointes à celle de la pesanteur universelle, l'ont mis à mesure de comprendre dans les mêmes expressions analytiques les états passés et futurs du système du monde. En appliquant la même méthode à quelques autres objets de ses connaissances, il est parvenu à ramener à des lois générales les phénomènes observés, et à prévoir ceux que des circonstances données doivent faire éclore. Tous ces efforts dans la recherche de la vérité tendent à la rapprocher sans cesse de l'intelligence que nous venons de concevoir, mais dont il restera toujours infiniment éloigné. Cette tendance propre à l'espèce humaine est ce qui la rend supérieure aux animaux, et ses progrès en ce genre distinguent les nations et les siècles et fait leur véritable gloire (Laplace, 1819 (1814), p. 3-4).

Un tel positionnement semble s'inscrire dans le contexte historique de la production intellectuelle de Laplace et n'exprime pas une métaphysique particulièrement originale. Par exemple Condorcet, l'une des sources philosophiques de Laplace à propos de son déterminisme, s'exprime déjà en 1768 ainsi

on pourroit regarder ce qu'il est à chaque instant [de l'univers], comme le résultat de ce qui devoit arriver à la matière arrangée une fois dans un certain ordre & abandonnée ensuite à elle-même. Une Intelligence qui connoîtroit alors l'état de tous les

phénomènes dans un instant donné, les loix auxquelles la matière est assujettie, & leur effet au bout d'un temps quelconque, auroit une connoissance parfaite du *Système du Monde*. Cette connoissance est au-dessus de nos forces : mais c'est le but auquel se doivent diriger tous les efforts des Géomètres philosophes [...] (Condorcet, 1768, p. 5)

On a ici une déclaration sur ce que le monde est (l'ontologie) par rapport à ce que nous pouvons en savoir, qui est très proche de la déclaration de Laplace. Loin d'être une singularité de l'astronome, le déterminisme de Laplace en ressort comme une formulation particulièrement explicite d'une pensée relativement commune et diffuse.

Par ailleurs, et probablement en reprenant Condorcet, Laplace s'exprime dans des termes proches à la fois de son texte de 1814 et de Condorcet, en 1773

L'Astronomie-Physique [...] nous offre une idée, quoiqu'imparfaite, de ce que seroit une semblable Intelligence. La simplicité de la loi qui fait mouvoir les Corps célestes, les rapports de leurs masses & de leurs distances, permettent à l'analyse de suivre, jusqu'à un certain point, leurs mouvements ; & pour déterminer l'état du système [...] il suffit au Géomètre que l'observation lui donne leur position et leur vitesse pour un instant quelconque : [...] mais l'ignorance des différentes causes qui concourent à la production des événements [...] l'empêchent de prononcer avec la même certitude sur le plus grand nombre de phénomènes ; il y a donc pour lui des choses incertaines, il y en a de plus ou moins probables. (Laplace, 1776, p. 144-145)

Cette première formulation du démon de Laplace devance de presque 40 ans sa version plus célèbre. Plus dubitative (« jusqu'à un certain point ») elle affirme néanmoins un déterminisme ontologique, face à une connaissance humaine imparfaite qui doit alors s'appuyer sur une connaissance probable du monde. La nouveauté que Laplace veut ici justifier est l'usage des probabilités plutôt que le déterminisme.

Dahan-Dalmedico (2012) parle de déterminisme ontologique global, pour caractériser la position de Laplace : le déterminisme se situe en aval de tout constat empirique sur le monde, de toute connaissance empirique.

Le cadre du raisonnement est fortement réductionniste : pour Laplace tout phénomène de la nature peut au fond a) se réduire à un phénomène mécanique, et b) tout phénomène mécanique ne peut qu'être déterministe.

Il est vrai que chez Laplace on rencontre aussi un appel systématique à l'expérience et à l'observation, mêlée d'une certaine méfiance envers les arguments philosophiques et métaphysiques qui font du Marquis, suivant Hahn (2005), un positiviste *ante litteram*. Ce prepositivisme se concilie mal avec l'image d'un Laplace 'philosophe du déterminisme'. Il est aussi vrai qu'en dehors du circuit de la publication officielle, ou Laplace se montre très sobre et particulièrement avare de positionnements métaphysiques, on possède plusieurs lettres et témoignages officiels de son intérêt pour la philosophie (voir les notes de Hahn (2005, p. 213-234) et contre la religion (Laplace était athée) .

Finalement, Laplace semble séparer moins nettement, dans sa citation de 1814, le plan épistémique du plan ontologique, en suggérant que ce qui est propre de l'intelligence humaine et de l'entreprise scientifique est de mélanger les deux plans. Une telle affirmation ouvre des portes à des nombreuses spéculations. Nous allons néanmoins présenter une lecture de Laplace assez canonique. S'il est vrai qu'une telle analyse ne rend peut-être pas justice au savant Marquis, elle est à nos yeux pas mal proche de ce que ses contemporains ont du retenir de sa contribution. En effet les réactions hostiles à Laplace à propos de son déterminisme, réactions qui sont nombreuses tout au long du XIX, en font systématiquement un champion du déterminisme et du réductionnisme le plus aride (voir par exemple Ruffini (1821), Breton et Moigno (1876)).

On va donc résumer le paragraphe de Laplace en les trois points suivants.²

Hypothèse 1 Toute partie de matière a une position et une vitesse données

2. Ceci est bien sur une simplification sur le plan philosophique outre qu'historique, son déterminisme est en effet plus subtil (Montague, 1974). Nous n'avons néanmoins pas besoin d'entrer dans la déclinaison moderne du déterminisme laplacien : la synthèse contemporaine se focalise surtout sur l'hypothèse 1, puisque des positions et des vitesses exactes sont incompatibles avec la mécanique quantique, et la notion de contemporanéité n'a aucun sens en relativité restreinte (Earman, 1986) et sur l'hypothèse 2 pour ceux qui ont un penchant métaphysique. Néanmoins, à l'époque de Laplace, la mécanique quantique et la relativité restreinte étaient bien loin d'être découvertes. Il y avait, il est vrai, une certaine résistance aux idées mécanistes sur la nature, notamment sur le front vitaliste, mais nous n'entrerons pas dans ce débat.

à un instant donné.

Hypothèse 2 L'univers entier n'étant rien d'autre que des morceaux de matière³, un ensemble d'équations (qu'on appellera l'Équation) suffit pour décrire l'univers dans son ensemble.

Hypothèse 3 L'Équation n'a qu'une seule solution, et cette solution décrit entièrement le passé et le futur de tout l'univers.

Conclusion Donc l'univers est déterministe : tout ce qui arrivera n'est que conséquence causale de ce qui est actuellement, et il n'y a qu'un et un seul passé et futur possible.

Notre propos se focalisera foncièrement sur l'hypothèse 3, l'unicité des solutions de l'Équation, et sur la légitimité de l'implication qui en suit, c'est-à-dire une conclusion à propos de l'ontologie basée sur un argument qui concerne les mathématiques. La raison en est que c'est sur cette troisième hypothèse que se focalisera la réaction de Boussinesq.

Considérons donc la question de l'unicité des solutions aux équations différentielles. L'unicité des solutions n'est pas une évidence ; seulement un certain genre d'équations différentielles ont une solution unique. Au temps de Laplace, le problème n'était pas encore clairement formulé : la preuve du théorème d'(existence et) unicité des équations différentielles fut donnée dans sa forme définitive à la fin du dix-neuvième siècle, grâce aux travaux d'un petit groupe de mathématiciens (fondamentalement Poincaré, Picard, Peano, Lipschitz et Lindelöf) ; quelques progrès avaient été faits au début du siècle par Cauchy (Dieudonné, 1978, p. 315-356). Néanmoins la définition du déterminisme laplacien précède la preuve de Cauchy, et Laplace semble implicitement considérer le théorème d'existence et unicité comme trivial. Cette attitude envers l'unicité ne concerne pas uniquement Laplace : suivant la plainte implicite de Boussinesq (1879a), toute la communauté scientifique de l'époque semblait peu concernée par le théorème d'existence et unicité, et cela malgré le fait que Poisson avait déjà trouvé un premier exemple de non-unicité en 1806 (Poisson, 1806)⁴. Il a été suggéré par Israel (1991) que l'unicité des solutions, dans l'esprit de Laplace et en général durant le XIX-siècle, était plus un *a priori* philosophique, une

3. Cela correspond à la vision mécaniste de la nature, dont nous avons parlé plus haut, et qui est considérée *a priori*.

4. Nous n'avons pas réussi à consulter un exemplaire original ni une copie de ce document de Poisson ; la citation se base sur celle faite par Boussinesq.

sorte de principe guide, qu'un théorème mathématique nécessitant d'être prouvé. Nous concordons entièrement avec cette lecture. En effet, le démon de Laplace sert à marquer le contraste entre la finitude de l'homme, astreint à faire usage des probabilités, et un monde régi par des lois mathématiques et déterministes, auxquelles tout phénomène peut être réduit. Mais ce 'vrai monde' n'admet aucun doute ni aucun indéterminisme ; il n'y a qu'un seul futur possible et donc une seule solution des équations.

L'idée de déterminisme laplacien, quoique le mot déterminisme n'apparaisse pas dans l'extrait de Laplace, est liée à deux exigences cruciales ; il s'agit d'un côté de **connaître** « l'état présent de l'univers », de l'autre de **calculer** ce qui va se passer par la suite. L'appel à la connaissance ne doit pas tromper, car il ne s'agit pas d'un problème uniquement épistémique, mais aussi ontologique. Il est épistémique dans la mesure où le déterminisme laplacien s'articule autour de la notion de connaissance du monde. Mais cette connaissance est une connaissance idéale, et son existence une pétition de principe, comme le montre bien l'exemple du démon. À ce titre, Laplace ne pense pas qu'on puisse réellement connaître l'état présent de l'univers. C'est plutôt une image métaphorique pour dire que l'univers est déterministe dans sa nature intime, une affirmation clairement ontologique. Une telle connaissance est possible, car l'objet à connaître existe, les objets dont est peuplé l'univers *ont* des « situations respectives » (une position et une vitesse les uns par rapport aux autres) et les forces qui animent la nature existent réellement : Laplace attribue aux constituants premiers de la nature des positions et des vitesses qui sont en tout l'analogue des objets mathématiques qui apparaissent dans ses équations, c'est-à-dire qu'il met en bijection les objets mathématiques et le monde. En ce sens, il rabat les mathématiques (le mode de parler de ce qui existe) sur le plan ontologique (ce qui existe), les faisant ainsi coïncider. Pour lui, les lois de la physique ont une nature mathématique qui est entièrement indépendante de l'homme ; c'est ainsi qu'est fait le monde. La faculté de calcul n'a rien non plus d'une limite épistémique. Laplace est parfaitement conscient de l'impossibilité pragmatique d'un tel calcul, c'est bien pour cela qu'il écrit un traité de probabilités. Ce qu'il veut affirmer par ses mots c'est plutôt que l'équation décrivant l'univers dans son entier possède une solution unique. Laplace connaît l'énorme difficulté, insurmontable pour des hommes, qu'une telle

équation impliquerait. Ce qu'il est en train de nous dire est donc une affirmation, une pétition de principe sur 'comment est fait le monde', sur l'ontologie. Il affirme, insistons une fois de plus, que l'univers est ainsi fait qu'il existe un seul passé et un seul futur décrits par le système d'équations correspondant à l'univers dans son ensemble et que de ce fait on peut déduire que l'univers n'a qu'un seul passé et un seul futur, et donc qu'il est déterministe. Il est en train de déduire des équations une connaissance sur l'ontologie du monde.

Pour qu'un tel projet ait du sens, il est important de comprendre la deuxième hypothèse : tout ce qui existe est physique, dans un sens fortement réductionniste. Ce qui existe doit au fond pouvoir se comprendre comme l'interaction d'objets matériels, suivant des lois physiques. Il n'y a pas de phénomènes émergents⁵ ou non réductibles : si tel était le cas, l'équation de Laplace ne serait plus suffisante à la prédiction. Le cadre du raisonnement est donc déterministe et réductionniste : tout ce qui existe est conséquence des lois physiques et ces lois sont déterministes.

La position laplacienne repose donc sur un triptyque important : elle est déterministe, réductionniste et elle traite les mathématiques comme langue de la nature. Ces trois éléments, bien que logiquement indépendants, ne sont pas orthogonaux et se confondent par moments. Du déterminisme et du réductionnisme on conclut que tout ce qui existe peut s'expliquer par des équations mécaniques. La conviction que l'univers est écrit en langage mathématique permet d'asseoir le déterminisme sur un constat commode, mais faux : l'unicité des solutions aux équations différentielles.

Les attaques envers l'un des trois points visent en général à la chute du triptyque.

Le 'maillon faible' qui sera au centre des attaques de Boussinesq et qui sera perçu comme étant le plus à même d'être prouvée fausse, est l'unicité des solutions aux équations différentielles. La crainte sous-jacente aux idées laplaciennes c'est que la liberté humaine ne soit qu'une illusion, contredite par un déterminisme macroscopique que l'on peut déduire du déterminisme microscopique.

5. Nous appelons *émergents* des phénomènes qui présentent au niveau macroscopique des propriétés qui ne s'expliquent pas et ne sont pas réductibles aux propriétés microscopiques, et nous appelons *survenants* des phénomènes macroscopiques qui tout en n'étant pas expressément encodés dans les constituants élémentaires sont réductibles à celles-ci.

2.3 Statut des lois en sciences naturelles et en sciences humaines

Nous avons précédemment discuté l'approche laplacienne du statut des lois naturelles : il s'agit d'une conception universelle des lois. Elles s'appliquent en tout domaine sans exception. Elles reflètent ou traduisent selon Laplace la nature objective du monde.

Une telle conviction sur l'universalité des lois naturelles se comprend dans le contexte de la vague d'enthousiasme liée à l'énorme succès des lois newtoniennes et à leur remarquable pouvoir prédictif.

Cependant, les sciences humaines ne pouvaient s'appuyer sur de tels succès en termes de prédictions et de résultats d'expérience. Le statut des lois chez les auteurs travaillant en ce domaine ressent donc de ce divers pouvoir prédictif, ainsi que des influences positivistes très importantes dans la période que nous concerne. Le statut des lois qui ressort des travaux de bien d'auteurs impliqués dans le développement des sciences humaines relève plutôt d'un découpage des faits observés. Les lois sont donc des classifications commodes correspondant bien davantage à notre façon de penser plutôt qu'à la nature du monde.

Le statut conféré aux lois a des retombées importantes sur le déterminisme. Si les lois sont universelles alors le déterminisme contredit la liberté individuelle. Mais si les lois sont un découpage des faits observés, alors leur structure n'est en soi pas une contrainte à la liberté. Le monde peut bien demeurer déterministe, mais ce sont les phénomènes directement plutôt que les lois qui permettent de décider sur la structure déterministe du monde. C'est en partie pour cette raison que l'accent, dans les débats en sciences humaines, est mis sur la régularité des données obtenues. Ce sont les phénomènes eux-mêmes qui semblent se présenter suivant une régularité surprenante, et qui avant même d'être ordonnés en des catégories ou des lois apparaissent en contraste avec la liberté humaine.

Du côté des sciences économiques, on ne rencontre pas non plus une uniformité ou un accord de principe sur le statut des lois et leur signification. Nous reproduisons à ce propos une définition tirée du *dictionnaire de l'économie politique* de Coquelin et Guillaumin (1854, p. 262-263), concernant la 'nature des choses'.

L'économie politique [...] est une science fondée sur l'observa-

tion des lois permanentes de la nature même des choses, suivant la méthode d'expérience ou d'induction qui guide aussi les investigations humaines dans les sciences physiques J.B. Say a [...] écrit à ce sujet : « La manière dont les choses sont et dont les choses arrivent, constitue ce qu'on appelle la *nature des choses*, et l'observation exacte de la nature des choses est l'unique fondement de toute vérité. De la naissent deux genres de sciences : les sciences qu'on peut nommer *descriptives*, qui consistent à nommer et à classer les choses, comme la botanique ou l'histoire naturelle ; et les sciences *expérimentales*, qui nous font connaître les actions réciproques que les choses exercent les unes sur les autres [...]

Ces principes, qui m'ont guidé, m'aideront à distinguer deux sciences qu'on a presque toujours confondues : l'économie politique, qui est une science expérimentale, et la statistique, qui n'est qu'une science descriptive. L'économie politique, telle qu'on l'étudie à présent, est toute entière fondée sur des faits ; [...]

Il y a dans les sociétés une nature des choses qui ne dépend en rien de la volonté de l'homme, et que nous ne saurions régler arbitrairement. [...] Or, c'est la connaissance de ces lois naturelles et constantes, sans lesquelles les sociétés humaines ne sauraient subsister, qui constitue cette nouvelle science que l'on a désignée sous le nom d'Économie politique. [...] »

Cette définition est fort intéressante à plus d'une raison. Premièrement pour le rapprochement qu'elle suggère entre économie politique et physique. Tout au long de la citation, Say propose une équivalence d'ambition entre les deux sciences. Cependant, une première différence importante ressort de cette définition : l'économie politique fait face à la volonté des hommes, ce qui marque un clivage profond avec la physique.

Le deuxième point intéressant qui ressort est le statut que Say accorde aux statistiques, une science descriptive. Ce statut va être reconsidéré par Quetelet, qui va le revendiquer avec des ambitions plus importantes pour les statistiques.

S'il est vrai que le discours sur le déterminisme du monde est en général appuyé sur la constance des phénomènes plutôt que sur la structure des lois en ce qui concerne les statistiques, Quetelet cherchera néanmoins à

formuler des lois sociales, en un sens proche de celui des physiciens.

La connivence entre théorie et observation se manifeste dans l'objet qui est 'observé', soit des moyennes. Loin d'être une pure donnée, les moyennes sont un objet construit grâce à la statistique. Elles ne représentent pas un objet naturel réellement existant, mais bel et bien un objet construit dans un but pragmatique.

Une dernière différence importante entre les lois de type naturel, au sens de Laplace et celles de type 'sciences humaines' est le caractère mécaniciste des premières. Les lois auxquelles fait référence Laplace sont des lois d'évolution dans le temps, elles décrivent le comportement d'objets en mouvement. La conviction laplacienne est de pouvoir exprimer tout ce qui existe comme expression de telles lois. Cependant, les lois auxquelles aboutissent les sciences humaines sont en général des expressions de corrélations entre phénomènes, souvent entièrement atemporels, ou tout au plus avec une temporalité cyclique. La venue d'un mode de penser mécaniciste en sciences de l'homme et tout particulièrement en économie politique va créer une tension importante sur un point que la citation de Say énonce clairement : les hommes ne sont pas des mécanismes. La modélisation queteletienne encourage à les penser davantage comme analogues à des machines, mais elle se heurte à une vision de l'homme très différente.

La conception mécaniciste de Laplace est rendue possible en partie grâce à l'accès relativement direct à la mesure des objets dont la physique s'occupe : mesurer des longueurs et espacements temporels nécessite de manipuler des objets simples (par rapport aux statisticiens) étant donné les moyens d'observation de l'époque. Cette aisance dans la mesure n'est pas partagée par les sciences humaines, qui sont forcées de construire leurs propres objets d'observation à travers des instruments statistiques. Mais plus généralement, c'est le manque de protocole d'expériences clairement établi qui fait défaut à la pratique des statisticiens. Ceci donne un avantage aux physiciens : si la pratique en physique a désormais établi des modes de production des faits expérimentaux, celle des statisticiens manque farouchement de critères solidement établis, que ce soit dans la composition et la création d'échantillons, dans l'établissement de critères de signification statistique ou même dans la possibilité de tester des hypothèses, des critères qui seront inventés bien plus tard.

La notion même d'observation est fortement influencée par les notions de loi, de protocole, de mesure et réciproquement. Les physiciens opèrent sur des phénomènes isolés, dont on peut idéalement exclure toute influence autre que celle qu'on cherche à mesurer, il s'agit donc d'une observation ciblée. La formulation de lois exactes est rendue possible par cette grande capacité d'isoler et mesurer un facteur à la fois. C'en est tout autrement des sciences humaines : les données sont récoltées sans aucune possibilité d'isoler une partie du phénomène ou de manipuler les conditions dans lesquelles il a lieu. Ce genre de données ne peuvent donc que donner lieu à des estimations tendancielle et qualitatives, avec un aspect quantitatif qui ne dépasse pas, en général, de constats de régularité. La régularité est donc l'observation principale, conjointement au constat des distributions gaussiennes.

On peut dès lors comprendre que face à de telles différences de fond le programme mécaniciste de Laplace dans les sciences de l'homme n'ait pas été indolore ; s'il est vrai que les sciences humaines de l'époque ne disposent pas encore d'une identité suffisamment forte pour se constituer comme une discipline à part entière, il est aussi vrai qu'elles travaillent avec des objets et des concepts profondément différents de ceux des physiciens, et qu'une telle différence est déjà partiellement connue et comprise par les acteurs du débat que nous allons analyser. L'exportation du cadre mécaniciste relève alors d'une manière possible de faire de la science qui n'est pas unique et qui ne va pas de soi. Cette méthodologie sera combattue par certains. En même temps, le prestige dont jouit la physique donnera au programme mécaniciste un élan inertiel suffisant pour pénétrer dans le domaine du social et y laisser une trace durable dont les échos nous parviennent encore.

L'arrivée du *thema* mécaniciste et son croisement avec les sciences de l'homme sera donc l'occasion de repenser en profondeur le statut épistémologique des sciences de l'homme et par reflet de la physique. Au travers des discussions sur la compatibilité entre liberté et pratique scientifique, les acteurs seront contraints de débattre en profondeur le statut des lois dans leurs disciplines respectives. Le résultat sera un changement de perspective sur ce qu'une loi signifie et sur ce qu'elle est sensée représenter dans une discipline. De même les idées de déterminisme, de l'imbrication micro-macro, ou encore du statut et des ambitions de l'instrument statistique vont subir des profonds changements au travers des débats sur la compatibilité

entre déterminisme et libre arbitre.

Significatif à ce propos sera le tournant représenté par le conventionnalisme de Poincaré (Nye, 1979), qui puise aux sources philosophiques du philosophe Émile Boutroux. Dans sa thèse de doctorat de 1874 *De la contingence des lois de la nature*, Boutroux repense en profondeur le concept de loi naturelle, en proposant une vision stratifiée de la connaissance scientifique qui est profondément antireductionniste, et où la nécessité des lois naturelles est fortement réduite (en physique), voire niée (en les sciences humaines). Boutroux aura l'occasion de faire référence à maintes reprises au problème de la régularité statistique, et niera toute implication déterministe.

Il reprendra son travail sur le statut des lois dans un autre livre plus tardif (Boutroux, 1895)⁶. Boutroux y discute la notion de loi dans les différentes sciences ; dans la conclusion, il se penche sur la compatibilité entre loi et déterminisme, et en particulier entre mathématiques et déterminisme. Il affirme notamment que la science consiste à réduire des faits aux mathématiques

L'idée fondamentale [... de la science moderne] consiste à admettre [...] que les choses sont [...] des déterminations particulières des essences mathématiques elles-mêmes (ibid. p. 135).

Boutroux insiste sur le rapport étroit et direct entre mathématiques et déterminisme

Les mathématiques communiquent à la science la nécessité ; l'expérience, la valeur concrète. Telle est la racine du déterminisme moderne. Nous croyons que tout est déterminé nécessairement, parce que nous croyons que tout, en réalité, est mathématique. Cette croyance est le ressort, manifeste ou inaperçu, de l'investigation scientifique (ibid. p. 136).

Le déterminisme est donc pour Boutroux une conséquence triviale de la mathématisation

Le déterminisme moderne repose sur les deux assertions suivantes : 1° les mathématiques sont parfaitement intelligibles et sont l'expression d'un déterminisme absolu ; 2° les mathématiques s'appliquent exactement à la réalité, au moins en droit et

6. Le livre est en réalité un recueil de leçons données à la Sorbonne en 1892-1893 ; les travaux de Boussinesq sur le libre arbitre y sont cités p. 46-47.

dans le fond des choses (ibid. p. 136).

Boutroux essaie, dans ses conclusions, de tenir compte de deux types de lois, les unes mathématiques et nécessaires, les autres inductives et donc non nécessaires. Les lois mathématiques seraient le propre de la physique, alors que les lois inductives seraient plutôt du domaine des sciences du vivant et des sciences sociales.

Cette conception permet d'épargner aux sciences de l'homme les conséquences du déterminisme des sciences physiques ; cependant, il en suivrait que les mathématiques et le social ne peuvent s'accorder, et que le social ne se mathématise point. C'est bien la position de Boutroux

Quant à présent, la mathématique et la société sont deux extrêmes séparés par un abîme et, à vouloir les faire coïncider, on risque de rapetisser et déformer la réalité sociale (ibid. p.132).

Cette position peut être pensée comme un repli qui des ambitions queteletiennes et walrasiennes de quantifier et mathématiser le social, revient sur des propos bien plus modestes, où la mathématisation n'est plus pertinente que si elle se borne aux sciences naturelles.

Nous pensons que ce repli sur des positions épistémologiquement plus nuancées est en partie la conséquence des débats qui eurent lieu autour de la compatibilité entre déterminisme et libre arbitre, et a fortiori sur le statut des lois naturelles.

Cette remise en question, et la séparation que Boutroux suggère s'inscrivent dans la démarcation disciplinaire qui est en train de se créer entre sciences humaines et sciences naturelles, et participe en partie à sa définition. Au fond, une frontière se définit par la difficulté qu'on rencontre à la traverser : la pénétration plus ou moins importante que le *thema* mécaniciste aura en sciences humaines ou en économie marquera différemment ces deux disciplines. Le statut particulier de l'économie politique, davantage imprégnée de références physiques que les autres sciences humaines, peut alors se lire au travers de l'épisode du *thema* mécaniciste et de la durée de son succès relatif. Si à l'époque que nous concerne cette frontière était encore relativement perméable, faute d'avoir été clairement définie, elle gagnera en épaisseur grâce aux déclinaisons épistémologiques du statut des lois. Cependant, la mathématisation de l'économie contribuera à maintenir un pont avec la physique qui cessera d'exister pour les sciences humaines

au fur et à mesure de l'avancement de la discipline, mais qui ne disparaîtra pas complètement pour l'économie.

Finalement, ce sera aussi le destin de la physique de se voir influencée par le retour de la vague mécaniciste. L'essor de la physique statistique sera tout particulièrement l'occasion d'une contamination culturelle qui aura son apogée dans les débats épistémologiques de Maxwell. Cependant, son destin sera encore différent : les ponts avec les sciences humaines seront coupés, et celui d'avec l'économie deviendra rapidement à sens unique : le débat, certes intéressant, proposé par Boussinesq sur la compatibilité entre mathématiques et libre arbitre se concentrera sur le degré de confiance et d'engagement ontologique qu'il convient d'avoir par rapport au langage mathématique. Une telle question, potentiellement de grand intérêt pour la naissante économie mathématique, n'y sera pas abordée de face, faute d'un développement disciplinaire encore embryonnaire.

Chapitre 3

Homme moyen, déterminisme et liberté : débat autour de la physique sociale de Quetelet

*If your experiment needs statistics,
you ought to have done a better experiment.*

Ernest Rutherford

Dans ce chapitre, nous allons reconstituer le débat autour de la compatibilité entre ‘lois sociales’ et liberté individuelle qui eut lieu à la suite des écrits et des découvertes du mathématicien, astronome et statisticien belge Adolphe Quetelet (1796-1874). Le but du chapitre sera de clarifier ce que ces lois sociales signifiaient aux yeux des acteurs impliqués dans le débat, pourquoi et dans quelle mesure ils les estimaient incompatibles avec la liberté individuelle, ainsi que l’évolution globale de ce débat, d’un conflit entre lois sociales et liberté vers une progressive acceptation et compréhension de ces ‘lois’ qui finiront par n’être plus perçues comme problématiques.

Le cadre de formulation de ces lois est celui du développement de l’outil statistique. Un outil à l’époque principalement descriptif, mais qui commence lentement à se développer en une branche à part entière des mathématiques. Les statistiques subissent au cours du XIX siècle une évolution rapide et importante à la fois qualitativement et quantitativement. Elles sont aussi associées, grâce notamment à Quetelet, à la théorie des probabilités et du hasard grâce à la loi des grands nombres. Le débat sur la liberté s’articule autour des régularités statistiques, de la distribution gaussienne et

de la possibilité de construire des lois grâce à ces régularités. Il est donc pertinent de suivre le développement de l'outil lui-même. L'histoire des statistiques permet d'expliquer en partie l'histoire du débat sur la liberté et réciproquement.

Finalement, qui dit statistique dit probabilité, un rapport important et que les travaux de Quetelet ont permis de souder. Si associer statistique et lois scientifiques est certainement en soi délicat, associer probabilités et lois scientifiques l'est encore plus. On pourrait penser que la probabilité suggère justement l'absence de loi, ou pour le moins leur échec partiel.

Pourtant, le rapport des statistiques avec les probabilités n'allait pas de pair avec une émancipation de la notion de loi scientifique. Si d'un côté le concept de chance était avant le XIX siècle perçu comme l'absence de lois (Hacking, 1990, p. 1), et donc échappant à la science, le développement des idées probabilistes impliqua son acceptation au panthéon du savoir scientifique. Cette acceptation se fit par une soumission du probable à la vision déterministe caractéristique du raisonnement scientifique, donc en envisageant le probable comme une manifestation de la connaissance limitée de l'homme face à une nature complexe.

Si l'on considère Laplace, un savant dont l'influence sur le développement des sciences est indiscutable, comme point de départ, la probabilité se situe sur un plan entièrement épistémologique. La finitude de l'homme implique son incapacité à mesurer le monde avec suffisamment de précision. Le probable n'est donc nullement une caractéristique de la nature, il est entièrement dans le regard de l'homme.

nous regardons une chose comme l'effet du hasard, lorsqu'elle n'offre à nos yeux rien de singulier, ou qui annonce un dessein, et que nous ignorons d'ailleurs les causes qui l'ont produite. Le hasard n'a donc aucune réalité en lui-même : ce n'est qu'un terme propre qu'à désigner notre ignorance sur la manière dont les différentes parties d'un phénomène se coordonnent entre elles et avec le reste de la nature. (Laplace, 1773, p. 114)

Cette idée du hasard correspond à une interprétation subjective des probabilités. Le probable est une mesure du degré de connaissance que nous avons d'un problème appartenant, lui, à un monde 'déterministe'. Cette image de la probabilité influencera les débats que nous allons analyser : s'il est vrai qu'il n'est pas logiquement nécessaire d'associer un univers

déterministe à des probabilités subjectives, il est aussi vrai que l'idée mécaniciste et réductionniste de Laplace est de facto l'image dominante en sciences¹. Une interprétation subjective du probable encourage à penser le hasard comme « n'ayant pas de réalité », et donc la réalité comme étant déterministe.

Il n'est pas excessivement surprenant que l'observation de régularités statistiques ait amené à des lectures déterministes des phénomènes sociaux. Par ailleurs, le déterminisme laplacien, fortement réductionniste, mène à poser des questions sur l'impact que des régularités macrosociales peuvent avoir sur le niveau microsocial.

L'enjeu principal du débat queteletien tourne autour de la contrainte que constituerait une détermination macrosociale sur un niveau microsocial, et notamment si cette contrainte implique une négation du libre arbitre.

Nous verrons que, bien que très peu de personnes aient effectivement soutenu l'inexistence du libre arbitre, la façon de concilier déterminisme et liberté peut varier beaucoup, en permettant une panoplie de déclinaisons de la question. L'analyse de ces positionnements nous raconte une histoire des lois sociales et de ce qu'elles signifient, qui évolue à travers la deuxième moitié du XIX siècle en contribuant à construire la spécificité et l'indépendance des sciences humaines par rapport aux sciences naturelles.

3.1 Homme moyen, physique sociale : le gant du défi au libre arbitre

La question qui nous concernera plus précisément fut posée de façon explicite par Quetelet. Sa démarche de statisticien l'avait amené à constater, d'année en année, l'étonnante répétition de faits disparates, tels que le

1. Cette affirmation nécessite quelques précautions. D'un côté l'image d'un univers fonctionnant comme un gigantesque mécanisme est plus ancienne que Laplace, et peut être ramenée jusqu'aux idéaux scientifiques de Boyle (Boas, 1952; Shapin et Schaffer, 1993). Il est clair que l'idée mécaniciste a évolué au cours du temps. Il a été par contre souligné que Newton, souvent cité comme une référence mécaniciste, ne partageait pas cette philosophie (Brush, 1976a). Plusieurs auteurs ont aussi souligné que l'image déterministe de Laplace n'était pas monolithique, et que des brèches dans la vision déterministe commencent à apparaître tout au long du XIX siècle (Hacking, 1983; Brush, 1976a), notamment grâce à l'introduction d'idées probabilistes (Gillispie, 1972). Néanmoins, l'importante quantité de travaux et réflexions philosophiques, notamment celles que nous allons analyser dans ce travail, suggèrent une influence très importante de l'image déterministe de Laplace.

nombre de mariage, de décès, de suicides, de lettres envoyées sans adresse, de taille de conscrits et autres relevés statistiques.

Comme astronome, Quetelet était habitué à contempler la régularité des mouvements stellaires ; en constatant des régularités semblables dans les faits sociaux, il eut tendance à y appliquer des explications semblables.

On retrouve ces aspirations, ainsi qu'une revendication nette de l'analogie avec l'astronomie dans ses écrits :

Je me fais peut-être illusion, mais j'ai lieu de croire que le travail fera plaisir... La partie la plus curieuse du travail sera, je crois, la théorie de la population. Je suis parvenu à la transporter entièrement dans le domaine des sciences exactes au moyen de deux théorèmes dont l'un m'appartient. (...) On pourra résoudre les grands problèmes des mouvements de population comme ceux des mouvements des corps célestes ; et ce qu'il y a de plus remarquable, c'est l'étonnante analogie qui existe entre les formules qui servent à ces calculs. Je crois avoir réalisé en partie ce que j'ai dit depuis longtemps sur la possibilité de faire une mécanique sociale comme l'on a une mécanique céleste ; de formuler les mouvements du corps social comme on a formulé les mouvements des corps célestes et d'en reconnaître toutes les propriétés et les lois conservatrices. (Armatte, 2010, Lettre de Quetelet à Sylvain van der Weyer du 22 août 1834 cité par Armatte, p. 7)

Et Quetelet ira même plus loin. Il proposera des exemples explicites de lois sociales. Par exemple, dans un mémoire de 1826, en discutant de la marche régulière de la nature, Quetelet constate que « l'analogie nous autorise à croire que l'influence de ses lois doit s'étendre jusque sur l'espèce humaine (Quetelet, 1826, p. 496) ». Quetelet se risque à une formulation mathématique décrivant la 'loi de mortalité', oscillant sur l'arc d'une année de façon sinusoïdale, et restant constante par ailleurs. Ce genre de formules, que Quetelet lui-même appelle des lois statistiques, étaient obtenues, selon Porter (1986, p. 44), partiellement par interpolation, partiellement par analogie.

On pourrait questionner la nature épistémologique accordée aux lois par Quetelet : s'agit-il de simple induction, ou y a-t-il une quelconque prétention à cerner 'la chose en soi' ?

Malgré une absence de théorisation forte, capable d'expliquer l'origine conceptuelle de ces lois et de les justifier autrement que par des tables empiriques, Quetelet aspirait à construire une 'physique sociale' comme le titre de son œuvre de 1835 (un emprunt à Auguste Comte peu apprécié par ce dernier) en témoigne. Il voyait des analogies importantes entre monde physique et social et s'opposait clairement à ceux qui semblaient croire « que la matière seule obéit à des lois immuables de mouvement et de conservation (Quetelet, 1848, p. 103) ». La citation qui précède est tirée du chapitre VII, *Analogies entre les lois physiques et les lois morales*. Ce dernier explore, dans un style assez excentrique, des analogies présumées entre les deux domaines et témoigne une fois de plus des aspirations du statisticien belge à l'établissement de lois des hommes, au même titre que les lois de la matière.

Quetelet envisageait donc une progression des sciences humaines au même titre qu'elle avait été possible pour les sciences naturelles. S'il est vrai que des denses tableaux statistiques abondent dans ses écrits, et qu'en ce sens il s'inscrivait pleinement dans l'idéologie positiviste et empiriste de son temps, il est néanmoins discutable de ranger Quetelet dans les rangs des positivistes : en effet, il y avait chez lui une double compréhension de la statistique. D'un côté, il était fasciné par la régularité de certains comportements moyens des populations, et croyait déceler dans ces régularités des lois sociales en action. De l'autre, il identifiait dans ces moyennes un idéal social, celui de l'homme moyen, qui avait une claire valence normative. De plus l'appel systématique à la notion de cause, et le désir d'identifier ces causes derrière les régularités statistiques, fait de lui un réaliste scientifique, aux antipodes du positivisme². Quetelet croyait donc qu'il était possible de construire des lois sociales qui auraient été analogues aux lois physiques, capables dans une certaine mesure de dévoiler des mécanismes, peut-être même des mécanismes causaux, agissant au niveau social. Il n'était cependant pas dupe des conséquences qu'on aurait pu tirer d'une telle analogie mécaniste, et s'il englobait en partie le mécanisme de Laplace, il ne poussait pas les choses jusqu'à en accepter le réductionnisme. L'individu restait pour Quetelet doué de libre arbitre. Seulement, ce libre arbitre n'agit pour lui que comme cause accidentelle. Ses effets s'annulent dans les grands

2. Un débat plus détaillé sur la question se trouve dans Armatte (2010); la question de l'affiliation positiviste de Quetelet est aussi discutée dans Porter (1997).

nombres que recueillent les statistiques. Cette distinction entre un déterminisme individuel et un 'déterminisme social' qui laisse néanmoins aux individus une partie de leur liberté est une interprétation partagée par le biographe de Quetelet, Joseph Lottin (1912, p. 439-440).

Il n'y a cependant pas un accord unilatéral sur la position de Quetelet : certains auteurs estiment que « la vraie pensée de Quetelet [...] est que le libre arbitre est en réalité soumis, quant à ses effets extérieurs, à la mesure et à la précision comme toutes les autres forces (Dallemagne, 1886) ». D'autres semblent se ranger sur des positions semblables (Engel, 1876), alors que certains prennent des positions plus prudentes (Knapp, 1872) estimant que Quetelet parvient à sauver le libre arbitre, voir estiment ses propos incohérents à cet égard (von Mayr et Salvioni, 1886, p. 48) (Wyruboff, 1870).

En tout cas, la régularité macroscopique n'est pas anodine par rapport à l'individu, même si Quetelet se refuse à tout réductionnisme étroit. Comme le remarque Bouveresse (2004, p. 52-53), si une régularité existe dans une population, par exemple un certain nombre de suicides d'année en année, il devient difficile de maintenir que cette régularité n'a pas d'implications sur chacun des individus de la population. En effet, si chacun était libre de ne pas se suicider, alors il serait possible en principe que certaines années personne ne se suicide. Cela n'est pourtant pas le cas.

Malheureusement, il n'est pas évident de déterminer dans quelle mesure la régularité statistique contraint la liberté individuelle : si, supposons, 200 personnes se suicident chaque année en Suisse, qu'est-ce que cela implique pour chaque habitant pris singulièrement ? Quel degré de contrainte ?

Quetelet est conscient du problème sur lequel il vient de se pencher. Il estime que, tout en ne niant pas le libre arbitre, la régularité statistique contraint fortement la liberté des agents. Il s'exprime explicitement à propos de ce qui en est alors du libre arbitre :

Devant un pareil ensemble d'observations, faut-il nier le libre arbitre de l'homme ? Certes je ne crois pas. Je conçois seulement que l'effet de ce libre arbitre se trouve resserré dans des limites très étroites et joue, dans les phénomènes sociaux, le rôle d'une cause *accidentelle*. (Quetelet, 1848, p. 69)

Le genre de régularités observées par Quetelet concernait toute sorte de phénomènes : il retrouvait des moyennes constantes à propos de la taille des conscrits dans l'armée, du nombre de suicides, des mariages contractés,

mais aussi des données plus fines. Par exemple les mariages contractés par un homme avec une femme plus jeune, de même âge ou plus âgée étaient des catégories dans lesquelles des régularités étaient observables. Or, si la taille des conscrits n'a pas de quoi soulever la perplexité, le mariage, comme le remarque Quetelet lui-même (1847), est censé être un acte accompli volontairement. Il est pourtant soumis au même genre de régularités, et donc a fortiori, selon Quetelet, au même type de cause déterminante que la taille des conscrits. C'est à ce niveau de discours que se pose la question de la liberté individuelle : les statistiques semblent dévoiler des mécanismes causaux derrière les régularités qu'elles affichent. Cette croyance en une cause sous-jacente dérive bien entendu de la pratique scientifique, et il n'est point étonnant que Quetelet, un astronome, ait interprété des régularités empiriques dans le monde social comme celles qu'il pouvait observer dans le monde physique. Mais si des régularités touchantes de caractères biologiques ou psychologiques, telle que le suicide, peuvent échapper à la polémique, des données comme la criminalité ou le mariage relèvent du domaine du jugement moral : affirmer qu'il existe des lois sociales qui déterminent le nombre de meurtres ou de mariages pourrait signifier que, dans une certaine limite, ces actes ne sont pas libres.

Une telle affirmation représente un danger clair pour ce qui en est du jugement moral : si les individus ne sont pas responsables de leurs actes, puisque ceux-ci obéissent à des lois causales strictes, il devient impossible d'émettre un jugement moral concernant ces actes, et donc de les blâmer ou de les condamner. C'est l'enjeu qui se cache derrière une vision fataliste du déterminisme social.

Les propos de Quetelet étaient donc destinés à éveiller des critiques, et ça ne sut tarder. Accusé d'être un fataliste, de nier l'existence de toute liberté, Quetelet se défendit dans un article de 1847. Il y prit explicitement position sur la question du libre arbitre en discutant l'exemple des mariages traité également dans son ouvrage de 1848.

Quetelet ne renie pas le libre arbitre. L'homme reste capable de délibération. Seulement ce libre choix n'a pas d'effets sur le monde social dans son ensemble, qui, lui, obéit à ses propres règles. « La statistique morale doit se borner à reconnaître les faits qui concernent un grand nombre d'hommes, et à rechercher les lois qui dominent ces faits (Quetelet, 1847, p.2) ». Quetelet brise donc le pont réductionniste en laissant les individus libres d'agir, mais

en contraignant cette liberté dans une case étroite qui demeure incapable d'influencer le comportement agrégé des individus. Ainsi tout en esquivant l'accusation fataliste, Quetelet réduit l'action des individus à des perturbations accidentelles, car « [l]e libre arbitre de l'homme, [...] agit d'une manière si capricieuse, si désordonnée, qu'il doit paraître absurde de supposer de la régularité et des lois dans les séries de faits qui s'accomplissent sous son influence (ibid., p. 2) ». Cela a deux effets : d'un côté, il rend l'influence du libre arbitre à grande échelle, c'est-à-dire au niveau social, pratiquement nulle en ce qu'« [i]l s'agit donc, avant tout, de reconnaître si le libre arbitre de l'homme se trouve en effet neutralisé dans l'état social » et « cette neutralisation s'observe effectivement (ibid., p.2) » ; deuxièmement, cela implique que dans une certaine limite, l'individu ne peut échapper à l'influence de ces mêmes lois sociales, des « lois de conservation [...] comme il s'en trouve dans le monde physique (ibid., p.2) » .

Si Quetelet impose des limites à la liberté de l'individu, il introduit néanmoins une liberté d'un genre nouveau : par la compréhension des lois sociales, il envisage une action directe sur les causes sociales qui les engendrent. En ce sens, Quetelet réfère à une possibilité d'action dirigiste sur la société : à travers l'outil statistique, on devient maître non seulement de soi-même, mais de toute une société, en influençant le devenir social dans son ensemble. Quetelet construit un instrument permettant grâce aux déterminations sociales qu'il révèle de diriger les changements et les réformes sociales dans une direction que les individus peuvent choisir.

En même temps, Quetelet souligne les limites dont ses régularités témoignent : une connaissance élargie des lois sociales auxquelles nous sommes soumis ne pourra que décroître notre impression de liberté en nous montrant toutes ses limites. Si ça ne représente pas une déresponsabilisation complète du sujet, cela affaiblit néanmoins l'idée d'un individu entièrement maître et donc responsable de son comportement.

Nous voyons d'abord que, dans une classe importante de faits sociaux, où le libre arbitre de l'homme joue le plus grand rôle, tout, jusque dans ses moindres détails, procède d'année en année avec une constance et une régularité telles, que les effets des volontés individuelles peuvent être considérés comme à peu près complètement neutralisés. Les seules causes morales qui exercent une action sensible sur le cours des choses n'émanent

plus des individus ; elles appartiennent au peuple et à ses coutumes, dont les individus subissent à tout instant les influences comme autant de nécessités. Or, si nous voulons modifier les effets que nous voyons se reproduire annuellement avec tant de constance, il faut commencer par modifier les causes dont ils dépendent.[...] On s'était fait une idée exagérée de l'importance physique et morale de l'homme ; il est temps de revenir à des idées plus justes. Sous le rapport physique, ce roi de la nature a été successivement réduit aux proportions les plus minimes. Une étude plus approfondie du système social, aura également pour effet de resserrer de plus en plus la sphère dans laquelle s'exerce l'influence de son libre arbitre (Quetelet, 1847, p. 11-12).

Quetelet avait lancé, sans le vouloir, le gant du défi. Il s'était néanmoins borné à une position prudente sur la question de la liberté individuelle. Celle-ci demeura toujours mitigée et n'alla jamais jusqu'à nier le libre arbitre. Néanmoins, son influence s'étendit bien au-delà des frontières de son pays, et parvint au-delà de la Manche, jusqu'en Angleterre.

3.2 Mill, Buckle, et le déterminisme historique

Les auteurs qui reprirent plus fidèlement les idées de Quetelet sur le déterminisme ont été John Stuart Mill et Henri Thomas Buckle.

Mill souscrivait à une position déterministe, touchante à tout phénomène, naturel et social (Mill, 1865, Book VI, chapter ii). Il défendait aussi l'existence de lois historiques déterministes et prouvées par les régularités statistiques. Il se réfère directement à l'œuvre de Buckle, dont on discutera à la suite de cette section (Mill, 1865, Book VI, chapter xi). Mill affirme explicitement que les régularités observées prouvent l'existence de lois sociales causales :

This singular degree of regularity *en masse*, combined with the extreme of irregularity in the cases composing the mass, is a felicitous verification *à posteriori* of the law of causation in its application to human conduct (Mill, 1865, p. 933).

Mill reconnaît deux types de causes qui déterminent les actions des hommes : d'une part « the general circumstances of the country and its inhabi-

tants ; the moral, educational, economical, and other influences operating on the whole people (ibid.) », de l'autre « the great variety of influences special to the individual : his temperament, [...], parentage, habitual associates, temptations (ibid.) ».

Il y a donc pour lui deux sortes de causes du comportement humain : l'une est générale et concerne les pays, leurs économie, éducation et civilisation. L'autre concerne l'individu singulier, son caractère, ses habitudes, etc. Mill sépare donc un niveau de description individuel (ou microsocial) d'un niveau de description social (macrosocial). Il reste tout de même prudent sur cette séparation et discute de façon approfondie l'influence réciproque que peuvent avoir les comportements individuels sur le comportement agrégé et vice-versa. Il souligne notamment que les effets des changements dans les moeurs ou dans les habitudes sont généralement lents, et que les relevés statistiques portent souvent sur de trop courtes durées pour les mettre en évidence.

La notion de 'loi' utilisée par Mill diffère de celle de Quetelet ; s'il y a un ancrage fort dans un déterminisme de fond, que Mill revendique clairement, il est aussi vrai que les analogies physiques sont moins fréquentes et moins importantes. Mill revendique que les actions humaines sont sujettes à la loi de causalité (ibid. p. 836) ; néanmoins, il se soustrait au cadre réductionniste, typique de la démarche laplacienne. Si cette émancipation est vraie chez Quetelet, elle l'est encore davantage chez Mill. En effet, l'Anglais estime que la liberté humaine est compatible avec une détermination des nos actions ; ce sont nos volitions, nos empêchements, désirs et pulsions qui déterminent ce que nous allons faire, et il estime possible d'étudier ces mécanismes comme une véritable science.

Il reconnaît une différence importante avec des sciences telles que, par exemple, l'astronomie. « The science of human nature [...] falls far short of the standard of exactness now realized in Astronomy (ibid. p. 846) » ; la possibilité d'émettre des prévisions exactes est exclue pour une science qui s'occupe d'individus. Une science de la nature humaine, même au cas où l'on en connaissait toutes les lois, ne travaille jamais avec des données qui seraient identiques, et les faits ne se représentent pas deux fois de la même manière ; en conséquence « we could neither make positive predictions, nor lay down universal propositions ».

Mill reconnaît donc un statut entièrement à part aux sciences de l'hom-

me, et affirme l'impossibilité de les réduire aux sciences de la nature. Même si, dans une certaine mesure, la méthodologie est semblable, les lois concernant l'homme et la société n'ont aucun espoir d'être réduites ou d'être exprimées avec la même précision, clarté et capacité prédictive des lois naturelles. Mill ne revendique pas une différence conceptuelle clairement définie, mais on devine un clivage qui se forme peu à peu entre deux genres d'investigations séparés : les sciences humaines deviennent, dans les mains de Mill, entièrement différentes des sciences naturelles.

Henri Thomas Buckle de son côté, reprit entièrement la question des régularités statistiques pour en faire l'argument clé de son déterminisme historique. Entre 1857 et 1861 il publia deux volumes de *l'Histoire de la Civilisation d'Angleterre*³ (HCE). Dans cette œuvre, Buckle exposa ses propres vues sur l'histoire : en particulier il était convaincu que l'histoire pouvait s'étudier de façon méthodique et scientifique, qu'elle possédait ses propres lois, et que ces lois étaient déterministes. L'argument de Buckle en défense de ce déterminisme reposait sur les régularités statistiques qu'on pouvait observer. Il s'appuie directement sur Quetelet, qu'il cite, mais en prenant une position bien moins nuancée, qui en fit, « l'enfant terrible » de Quetelet⁴ (von Oettingen, 1882, p. 29). Dans l'introduction de HCE il discute en détail la question du hasard et du déterminisme. Selon Buckle (1865, p.18) c'est la doctrine du hasard et des phénomènes aléatoires qui a engendré historiquement celle du libre arbitre, alors que celle du rapport nécessaire entre phénomènes a amené à l'idée de prédestination. Tout en ne croyant pas à la prédestination, une doctrine trop empreinte de caractère religieux pour ses convictions libérales, Buckle insiste sur la quantité croissante de régularités qu'il est possible de déceler dans la nature, et en fait un argument contre la doctrine du libre arbitre.

L'idée que Buckle a des lois et de la détermination repose à notre sens sur une ambiguïté de fond, qui est en partie hérité de Quetelet. Buckle considère qu'une loi de la nature est seulement « une généralisation de rapports, et n'ayant d'existence que dans l'esprit, est nécessairement intan-

3. Titre original : *The History of Civilization in England* (HCE), mais nous allons nous référer pour les citations à la traduction française de 1865 (Buckle, 1865).

4. Interrogé par Herschel sur la mauvaise réputation que Buckle avait contribué à donner aux opinions de Quetelet (Quetelet, 1872), celui-ci se montra complaisant envers le collègue anglais, en ne prenant en tout cas pas de distance par rapport au déterminisme de Buckle.

gible, [...] (ibid. p. 39) ». C'est donc une régularité généralisée par induction, une conception de loi de la nature proche des idées positivistes. Les lois sont 'dans l'esprit' plutôt que 'dans la nature', et n'ont donc qu'une valeur descriptive ou phénoménologique. Néanmoins, Buckle affirme par ailleurs que « les actions des hommes, étant déterminées uniquement par leurs antécédents, doivent avoir un caractère d'uniformité (ibid. p.27) ». Il fait ici référence à des antécédents et à des déterminations, ce qui dépasse le cadre purement descriptif. Les antécédents sont d'ailleurs « soit dans l'esprit, soit en dehors de l'esprit (ibid.) » ; Buckle déduit de cela la détermination complète de l'action humaine, ce qui est difficilement conciliable avec une idée de loi comprise uniquement comme interprétation subjective d'une régularité. Comme Quetelet, Buckle est pris entre un minimalisme métaphysique au goût positiviste et une tendance à tirer des conclusions réalistes de sa connaissance scientifique.

Buckle souligne que des phénomènes 'irréguliers', soumis à tout genre d'aléa, tels que par exemple les meurtres, sont souvent la conséquence d'actes impulsifs et nécessitent de conditions particulières. D'un point de vue subjectif ils semblent soumis au hasard le plus total, cependant, ils présentent une régularité dans leur nombre. Cette régularité n'est pas uniquement dans leur nombre total, mais aussi, par exemple, dans le type d'arme utilisée. Les statistiques montrent donc de la régularité, exactement là où le comportement individuel paraît le plus irrégulier. Le paradoxe se retrouve ainsi renforcé. Plus il y a d'aléas apparents, plus le sujet à l'impression d'être soumis à des lois imprévisibles, plus en réalité le phénomène est régulier :

On pourrait bien supposer que de tous les crimes le meurtre est un des plus arbitraires et des plus irréguliers, car lorsque nous considérons que ce crime, [...] est souvent le résultat immédiat de ce qui paraît être une impulsion soudaine ; que, lorsqu'il y a préméditation, la perpétration de ce crime, même avec la plus petite chance d'impunité, exige une rare combinaison de circonstances favorables pour lesquelles le coupable devra bien souvent attendre ; [...] Et pourtant, qu'arrive-t-il *en réalité* ? Le fait est que le meurtre est commis avec autant de régularité et est en rapport aussi uniforme avec certaines circonstances connues que le sont les mouvements des marées et la rotation des saisons

(ibid. p. 32, nous soulignons).

C'est donc la tension entre l'impression subjective de liberté et une causalité objective que Buckle met en scène. À ce propos, le parallèle avec les régularités dans les phénomènes naturels est particulièrement important.

L'action humaine est donc régulière à l'échelle statistique ; Buckle estime de plus que l'action humaine est entièrement déterminée aussi au niveau microscopique, celui de l'individu pris singulièrement, car

lorsque nous accomplissons une action, nous l'accomplissons en conséquence de certains motifs ; [que] ces motifs sont les résultats d'antécédents, et [que] par conséquent si nous connaissons tous les antécédents et toutes les lois de leur mouvement, nous pourrions prédire avec une certitude infaillible tous leurs résultats immédiats (ibid., p. 25)

L'individu est donc privé de tout choix alternatif possible : pour Buckle la liberté - si elle existe - ne consiste pas à pouvoir sélectionner plusieurs destins possibles, car de tels choix ne sont qu'illusoire.

Le déterminisme qui en découle n'est pas formulé au niveau individuel : Buckle remplace la liberté de l'individu comme déterminant des processus historiques, par une vision sociologique identifiant dans des variables macroscopiques les véritables forces qui engendrent les grands phénomènes historiques.

Il discute par exemple une dépendance entre le nombre de mariages et le prix du blé (ibid. p.41), mais aussi, en Angleterre, entre le revenu et le mariage. Il introduit donc une conception du social comme tendance des individus à être soumis à des contraintes externes à leur propre volonté, des contraintes d'origine non naturelle, telles que les salaires.

Mais Buckle identifie aussi la nature comme déterminant du comportement humain : le climat, la nourriture, le sol, les aspects généraux de la nature (on dirait aujourd'hui les particularités ethniques/somatiques). Sa position apparaît une fois de plus moderne, mais aussi au service de ses convictions politiques libérales : proche de John Stuart Mill (il fut l'auteur entre autres de la préface de *On liberty*), il défend dans HCE l'importance prépondérante des facteurs climatiques dans le développement de la civilisation sur les facteurs ethniques/raciaux. Il souligne en particulier que

la race n'a aucune influence prouvée sur le développement des sociétés⁵, alors que les trois autres facteurs en ont une.

On assiste donc à la naissance d'un nouveau genre de discours, qui considère que les contraintes environnementales priment sur la nature des individus, et qui refuse d'inscrire les différences des peuples dans leur nature intrinsèque. Un tel discours s'appuie nécessairement sur la statistique et demande un changement de point de vue, de l'individu vers la société dans son ensemble. Par son déni des différences naturelles entre les individus, et l'accent qu'il met sur le social, Buckle contribuât à la création de la séparation bien connue entre 'nature and nurture' et plus en général entre naturel et social.

3.3 La question des probabilités : Cournot, Mill et la probabilité objective

Dans l'enseignement contemporain, les statistiques vont de pair avec la théorie des probabilités, et en représentent le complément naturel. Cependant, à l'époque que nous considérons, statistique et probabilité étaient moins fortement reliées que de nos jours. Il était tout à fait possible pour un statisticien d'ignorer entièrement la théorie des probabilités. Quetelet, qui avait une excellente formation de mathématicien, et qui était même l'auteur d'une *Théorie des probabilités* (Quetelet, 1853), ainsi que d'un *Instructions populaires sur le calcul des probabilités* (Quetelet, 1828), connaissait la théorie des probabilités et il était bien conscient du rapport entre probabilité et statistique. Une telle connaissance n'allait cependant pas de soi : le calcul des moyennes et l'étude de tableaux de chiffres ne demandaient pas un traitement probabiliste et il était donc possible d'être statisticien sans véritablement connaître la théorie des probabilités. Les statistiques étaient majoritairement descriptives.

Or, la probabilité peut se comprendre de maintes manières : nous allons

5. « Je souscris cordialement à la remarque d'un des plus grands penseurs de notre époque, qui dit en parlant des différences supposées de race : "Of all vulgar modes of escaping from the consideration of the effect of social and moral influences on the human mind, the most vulgar is that of attributing the diversities of conduct and character to inherent natural differences" Mill, *Principal of Political Economy*, t. I, pag. 390 [...] » (ibid. note de page 50).

distinguer un premier clivage important, qui est celui objectif/subjectif ou si l'on préfère ontologique/épistémique. Une probabilité est subjective si l'on pense qu'elle exprime un manque de connaissance sur les véritables causes qui engendrent un phénomène ou si l'on ne dispose pas de toute l'information concernant un choix à opérer. C'est par exemple le cas d'une partie de Blackjack où l'on essaie d'estimer les chances de victoire d'un joueur quelconque. En vue du fait que les cartes sont posées sur la table face cachée, on ne connaît pas le gagnant. Cependant, si l'on accède à la connaissance en question, on saurait qui possède le meilleur point. Une estimation du genre 'Le joueur 1 a 30% de chances de remporter la mise' est une estimation basée sur l'information disponible, et il s'agit donc d'une probabilité épistémique ou subjective.

Il est bien moins aisé de définir une probabilité objective. D'une manière générale, nous pensons que la probabilité dans le cas du jeu de Blackjack exprime une croyance que nous pouvons avoir ; il y a pourtant des faits dans le monde qui se comportent de façon imprévisible, et cela de façon parfaitement indépendante de toute connaissance que nous pourrions en avoir. C'est par exemple le cas de la désintégration d'un noyau lourd ; il est possible d'exprimer la probabilité d'un tel événement sur un certain laps de temps, mais aucune mesure ultérieure ne permet d'éliminer cette particularité du noyau de pouvoir se désintégrer ou pas, avec une certaine probabilité. Ce qui change c'est que dans le cas du noyau, nous avons tendance à croire que la probabilité exprime un fait qui se trouve dans la nature, quelque chose d'apparemment indépendant de notre regard sur le monde (avec les précautions que tout épistémologue prend par rapport à une telle affirmation). Dans le cas du Blackjack, un joueur externe pourrait regarder le verso des cartes, et connaître l'identité du gagnant ; mais dans le cas du noyau cette connaissance est impossible, car la désintégration est régie par un phénomène authentiquement aléatoire.

L'interprétation du concept de probabilité chez Laplace était certainement du premier type, à savoir, épistémique : un manque de connaissance du sujet-expérimentateur par rapport à son objet d'étude. Cette conception est l'expression même de l'idée laplacienne d'un déterminisme absolu. Laplace ne l'appliquait pas uniquement aux jeux de cartes, mais aussi aux phénomènes naturels.

Cependant autour de la moitié du XIX siècle des interprétations fré-

quentistes furent proposées, notamment par Mill et Cournot.

L'idée des fréquentistes était de penser les phénomènes probables comme étant indépendants du niveau de connaissance d'un sujet. La probabilité ne représente pas un degré de croyance (rationnelle), mais une fréquence : si on répète une expérience un grand nombre de fois, le nombre d'occurrences d'un certain résultat approche la probabilité qu'on associe à ce résultat. C'est par exemple ainsi que Mill définit le concept de chance⁶.

Hacking (1990, p. 126-127) identifie en John Venn l'inventeur du fréquentisme, avec des précurseurs notoires, dont Ellis, et en Augustus de Morgan l'inventeur de l'interprétation subjectiviste. Il est possible de trouver des intuitions fréquentistes et subjectives à beaucoup d'endroits, bien avant ces figures majeures. Hacking lui-même range des penseurs du XVIII^e siècle dans les deux catégories (Hacking, 2002).

L'interprétation fréquentiste n'est pas en soi incompatible avec le déterminisme laplacien. Il est possible de croire en un déterminisme absolu, et de définir cependant la probabilité en des termes fréquentistes. Cependant, l'idée de chance comme fréquence (dans le cas idéalisé où l'on peut répéter une expérience un grand nombre de fois) ne requiert aucune référence au degré de croyance (ce qui ne signifie pas que les deux soient antithétiques). C'est une définition qui ne dépend que du phénomène aléatoire lui-même plutôt que du sujet connaissant, et en ce sens il déplace le focus du sujet connaissant au phénomène observé. Une interprétation fréquentiste de la probabilité ouvre la porte au probable comme fait de la nature, par opposition à une idée du probable comme limite de nos capacités d'observateur.

Quetelet semble avoir penché pour une interprétation fréquentiste de la probabilité (Seneta, 2003), quoiqu'avec des réserves. Mais cette idée allait de pair avec une autre, qui relie Quetelet davantage à Laplace qu'à Cournot par exemple. Quetelet estimait en effet que pléthore de causes multiples étaient à la base de tout phénomène aléatoire. En ce sens, aléatoire pour lui signifiait, comme pour Laplace, imprévisible. Mais Quetelet, conscient de l'imprévisibilité du phénomène probable, avait inventé une méthode pour dépasser cette fâcheuse imprévisibilité : les lois statistiques. Elles permettaient de condenser ensemble un nombre extrêmement grand de phéno-

6. [...] when a coincidence cannot be deduced from known laws, [...] the frequency of its occurrence is the only evidence from which we can infer that it is the result of a law. (Mill, 1865, Book III, chapter xvii, p. 527 (1843))

mènes afin de révéler des comportements réguliers, et donc prévisibles du moins en partie.

Si Laplace voyait l'imprévisibilité comme une limite de la connaissance humaine, cela est moins clair pour Quetelet. Il semble en effet adhérer par moments à une vision laplacienne, même si son approche ne s'intéresse pas directement à la question de ce qu'est une probabilité.

En revanche, il est clair que Quetelet voit dans les probabilités et les statistiques une expression de la nature. Un passage qui nécessite un tour de force conceptuel remarquable, inscrit dans l'idée de l'homme moyen. En effet, Quetelet, astronome royal, était formé à l'usage courant des statistiques et probabilités en physique. L'usage en physique était cependant destiné à la mesure répétée d'une même grandeur. Les mesures répétées n'étaient pas toutes identiques ; elles déviaient toutes d'une valeur moyenne qu'on pouvait calculer, et qui était conçue comme la vraie valeur. La déviation était une probabilité d'erreur, et la répartition de ces erreurs suivait une distribution gaussienne, ou comme on l'appellera plus tard, normale. Or, Quetelet, en appliquant la statistique aux individus, opère un changement important : il ne mesure plus un même objet plusieurs fois, mais bien plusieurs objets, tous différents, une seule fois. S'il peut être facilement acceptable de considérer que cent mesures de la taille d'une tour se distribuent autour de la vraie valeur de la taille de la tour, cela est moins clair pour cent mesures de la taille des recrues d'une armée. En effet, que représente cette moyenne ? La vraie tour existe dans un sens qui paraît clair, mais qu'en est-il du 'soldat moyen' ? Cet individu n'existe nulle part, et on peut alors se demander quel est son statut épistémologique. L'homme moyen fictif de Quetelet remplit ce trou conceptuel (Armatte, 2010). Cependant, il n'est pas uniquement une béquille conceptuelle neutre. En effet, Quetelet considère l'homme moyen comme un idéal normatif, une synthèse des caractères nationaux typiques qu'un individu devrait avoir (Hacking, 1990).

L'idée que l'origine du probable soit dans la nature, plutôt que dans le regard que nous avons sur elle, est un passage important dans ce que Ian Hacking appelle 'erosion of determinism' (Hacking, 1983). C'est aussi un passage important d'une vision de la statistique comme un agrégat de causes multiples rigidement déterminées (Laplace) vers une vision conciliante de la statistique avec le déterminisme (Quetelet) pour aboutir à une

indépendance entière du concept de chances et de statistiques par rapport au déterminisme. Ce parcours n'est pas uniforme. Il est fait de transformations et de rebonds. Ces rebonds sont souvent ceux du débat sur la compatibilité entre probabilités, statistiques et libre arbitre.

À titre d'exemple, Mill considère qu'un phénomène est toujours la conséquence, comme pour Quetelet, de causes multiples. L'aléatoire apparaît du moment où deux phénomènes n'entretiennent pas de rapport systématique : ils sont alors liés par un rapport de chance. En ce sens, leur cooccurrence est une définition de la chance qu'on associe à leur conjonction : il s'agit de savoir, sachant *A* combien de fois on observe *B*. On n'a qu'à reproduire *A* un grand nombre de fois, et regarder quand *B* apparaît pour induire sa probabilité. Cette idée est tout à fait compatible avec la détermination de *A* et avec la détermination de *B* : il suffit que *A* soit par exemple nécessaire, mais non suffisant à engendrer *B*. En même temps, il s'agit d'une approche fréquentiste de la probabilité.

Il n'est donc nullement nécessaire de nier le déterminisme strict en ce qui concerne un phénomène singulier, ni d'abandonner une image d'arrière-plan strictement déterministe si on adopte l'approche fréquentiste. D'une certaine façon, la probabilité au sens de Mill mesure aussi un manque de connaissance (si deux phénomènes ont lieu l'un à la suite de l'autre avec une certaine fréquence, on peut penser, nous dit Mill, qu'ils ont au moins une cause commune ; et l'absence de toute cause commune correspond à une distribution homogène de chances). Cependant, les causes communes que deux phénomènes peuvent avoir ne dépendent pas de l'observateur et sont en ce sens objectives.

Le fait d'avoir défini empiriquement au lieu de subjectivement l'idée de chance permet de remettre partiellement en cause le déterminisme de Laplace et de Quetelet. En tout cas, si le hasard est dans les choses, et non dans notre regard, il est plus difficile de maintenir un déterminisme aux conséquences fatalistes qui soit logiquement consistant. La probabilité au sens fréquentiste, tout en n'étant pas forcément l'expression d'un indéterminisme, n'est pas forcément non plus l'expression d'un déterminisme. L'interprétation fréquentiste est neutre sur ce point, alors que celle laplacienne ne l'est pas. En ce sens, l'interprétation fréquentiste érode le rapport étroit avec la physique, en creusant un sillon séparé dans lequel les idées d'une science sociale indépendante peuvent développer leur propre cours,

et affaiblit l'idée de lois sociales analogues aux lois naturelles, qui seraient entièrement causales.

Les idées de Cournot sur la statistique méritent une réflexion à part. L'interprétation cournotienne, elle aussi fréquentiste, repose sur une définition de hasard comme croisement de deux chaînes causales indépendantes :

L'idée de *hasard* est celle du concours des causes indépendantes, pour la production d'un événement déterminé. Les combinaisons de diverses causes indépendantes, qui donnent également lieu à la production d'un même événement, sont ce qu'on doit entendre par les *chances* de cet événement. [...] Lorsque l'on considère un grand nombre d'épreuves du même hasard, le rapport entre le nombre des cas où le même événement s'est produit, et le nombre total des épreuves, devient sensiblement égal au rapport entre le nombre de chances favorables à l'événement et le nombre total des chances [...] mesurant la *possibilité* de l'événement, ou la facilité avec laquelle il se produit. En ce sens pareillement la probabilité mathématique exprime un rapport subsistant **hors de l'esprit qui le conçoit**, [...] (Cournot, 1984 [1843], p. 287, **nous soulignons**)

L'analogie avec Mill est assez importante, mais cette fois avec l'idée que plusieurs causes puissent avoir un même effet (alors que chez Mill on avait affaire à des antécédents communs). Mais surtout, Cournot fait référence à deux notions distinctes, celle de la fréquence relative et celle de la possibilité d'un événement. Cournot insiste sur l'indépendance d'une telle notion de chance par rapport au sujet observant et revendique donc le statut objectif de ce genre de probabilité.

Cournot tout aussi bien que Mill défend une forme de déterminisme, bien qu'avec des nuances fort différentes de celles de l'Anglais. Il a notamment une idée du hasard comme concept irréductible, comme nous le verrons au chapitre suivant. Tout de même, le croisement de chaînes causales présuppose un déterminisme de fond, et donc le phénomène aléatoire n'exclut pas le déterminisme chez Cournot.

Cournot est aussi un statisticien habile. Il applique l'outil statistique à des domaines disparates, les sciences naturelles, la durée de vie des populations, les assurances, les jugements, la statistique judiciaire. Il est bien

conscient de la nécessité de fonder les statistiques sur une méthode théorique.

Il ne mentionne pas explicitement Quetelet et sa théorie de l'homme moyen, ni la question du déterminisme issu des statistiques. Cependant, on y trouve des références implicites ; Cournot parle notamment de la régularité des phénomènes sociaux.

Mais alors que pour Quetelet cette régularité dévoilerait un déterminisme social, pour Cournot davantage de régularité statistique signifie indépendance des phénomènes probables sous-jacentes !

Un fait singulier [...] c'est que, pour des choses qui proviennent du développement de l'activité de l'homme, et qui paraissent tenir à une multitude de causes très complexes, telles que le rapport entre le nombre des accusés pour crimes et celui des habitants d'un pays, le rapport entre le nombre des condamnés et celui des accusées, on trouve, d'une année à l'autre, des variations bien moindres que pour des choses qui dépendent du concours de forces aveugles de la nature. Mais, quand on y réfléchit, ce résultat cesse de surprendre ; on conçoit aisément qu'il n'existe que peu ou point de solidarité entre les causes dont le concours détermine la perpétration d'un crime, et celles qui déterminent la perpétration d'un autre crime [...] : tandis que, bien évidemment, il y a une solidarité très grande entre les causes dont le concours fortuit amène aujourd'hui la pluie, et celles dont le concours amènera demain la pluie dans le même lieu. Il est donc tout simple que, dans les choses qui tiennent à l'activité individuelle de l'homme, les valeurs des chances moyennes paraissent plus fixes, et éprouvent en effet moins de perturbations irrégulières. Au contraire, il y a tout lieu de penser qu'elles sont sujettes, par suite des transformations lentes de l'état social, à des variations séculaires qu'on n'observe pas, en général, pour les phénomènes de l'ordre physique : soit parce qu'elles n'existent pas, soit parce qu'elles ne procèdent qu'avec une excessive lenteur (Cournot, 1984 [1843], p. 137-138).

Cournot affirme que ranger ensemble des phénomènes naturels, tels que les jours de pluie, et ranger ensemble des phénomènes sociaux, tels

que le nombre de crimes, sont deux choses différentes : les criminels ne s'influeraient pas les uns les autres au même titre que les jours de pluie.

Autrement dit, les chances que l'homme *A* soit un criminel sachant que l'homme *B* en est un, ou que *A* en soit un sachant que *B* ne l'est pas, est environ la même, alors que les chances qu'il pleuve aujourd'hui sachant qu'il pleuvait hier ou qu'il faisait beau temps sont très différentes. Ranger dans une même catégorie les jours de pluie et les crimes ne revient donc pas à un même procédé. Il est assez naturel que le nombre de criminels soit proportionnel à la population d'un pays, dans la mesure où chaque criminel agit de façon indépendante, alors que le nombre de jours de pluie par rapport aux jours de l'année peut varier considérablement selon que l'hiver soit plus ou moins rigide, parce que les chances qu'il pleut d'un jour à l'autre ne sont pas indépendantes.

Cournot répond peut-être implicitement à une suggestion de Quetelet, soit que les faits qui semblent découler de notre volonté libre sont davantage réguliers que ceux qui ne le sont pas, une suggestion qui pourrait se comprendre dans un sens déterministe. Malgré la réponse de Cournot, ce même argument sera repris en force par Adolph Wagner (Wagner, 1864).

À bien y réfléchir, la raison de l'indépendance de crimes est que chaque citoyen d'un pays est libre, selon Cournot, de se comporter honnêtement ou pas, alors que chaque jour n'est pas libre d'être pluvieux ou pas. C'est donc un renversement de perspective qui mène Cournot à justifier les régularités statistiques comme une preuve (implicite) de liberté. L'indépendance des individus est justifiée par leur liberté morale, une indépendance que des phénomènes régis par des lois au niveau microscopique n'ont pas. Cournot n'est pourtant pas naïf : il admet une influence de l'état social sur les individus, et donc il laisse de la place à l'idée de lois sociales, ou en tout cas à l'idée que le social ait un impact sur le comportement des individus. Seulement, il refuse de traiter de la même façon le social et le naturel, et justifie avec pertinence les hypothèses qu'on peut faire lorsqu'on modélise mathématiquement leurs comportements respectifs.

3.4 La réception de Quetelet en France

Les travaux de Quetelet se répandent en Angleterre et en Allemagne (Porter, 1986) (Krüger, Gigerenzer *et al.*, 1990, p. 37-69) (Stigler, 1986, p.

159-220), ainsi que, comme nous allons le discuter, en France. L'impact de Quetelet et son influence ne se bornent pas à des disciplines cloisonnées : nous retrouvons des discussions autour des idées queteletiennes en économie, sociologie, philosophie, géographie, politique.

Le développement d'outils statistiques dépasse le simple calcul des moyennes, et des tables de données de plus en plus riches et complètes permettent de faire des statistiques un outil clé du travail économique et démographique. Le statut des statistiques au cœur des sciences, ainsi que la complexité croissante de cet outil soulèvent des inquiétudes, dont on trouve un écho, par exemple, dans le *Journal des Économistes*. En octobre 1869, à l'occasion du septième congrès international de statistique à La Haye, la section dédiée à la 'théorie et application de la statistique' se penche sur la question des limites de la statistique. La session fait ressortir que « l'école, dite descriptive, cède de plus en plus la place à l'école dite mathématique. La première se borne à exposer le *fait*, la dernière veut découvrir la *loi* (7ème congrès de statistique, 1869, p. 58) ». Le compte-rendu est court et assez vague, mais on y devine une certaine inquiétude, qui ne sait tout de même pas venir à bout du besoin d'indépendance et de liberté des statisticiens de la nouvelle école ; « La première section, [...] exprime l'opinion que [...] l'objet et les limites de la statistique, de même que la position de cette science vis-à-vis des autres sciences, doivent être abandonnées à l'investigation libre de tous ceux qui s'en occupent. (ibid.) »

La question du libre arbitre en statistique est par moments discutée, bien que ce soit rarement un sujet abordé de front. Par exemple, le *Journal de la société statistique de Paris*, dans le procès-verbal de la séance du 8 novembre 1873, rend compte d'une présentation qui touche au problème du déterminisme dans les régularités statistiques. La position affichée est clairement contre un déterminisme rigide, bien que l'on soutienne l'existence de lois statistiques compatibles avec la liberté individuelle. Néanmoins, le procès verbal se termine par une affirmation prudente, qui relègue la question au domaine de l'expertise philosophique.

Il y a là une grosse question de philosophie morale, dont la statistique n'a pas à s'occuper directement, mais la solution de laquelle les chiffres qu'elle recueille fourniront les éléments dont elle a besoin. (1874, procès verbal du 8 novembre 1873, p. 3)⁷

7. Cette même phrase sera reprise en 1908 à l'occasion de la publication d'un article de

En général, la réaction aux idées de Quetelet est positive en ce qui concerne la possibilité d'identifier des lois sociologiques, mais négative en ce qui concerne les conséquences sur le déterminisme. Le point de vue de Quetelet, c'est-à-dire que le déterminisme n'est vrai que si l'on applique la loi des grands nombres, mais que l'individu singulier n'est pas privé pour autant de sa liberté, est celle habituellement acceptée.

Le déterminisme déduit des régularités statistiques sera constamment rattaché à un discours sur la signification de ces régularités, et sur la possibilité de construire des lois qui décrivent l'évolution des sociétés. Il est à ce propos fort intéressant de consulter l'article de Bertillon (1876a) sur la théorie des moyennes. Bertillon y distingue moyenne objective et moyenne subjective. La moyenne objective mesure la valeur approchée d'une donnée existante (par exemple la mesure répétée de la hauteur d'une tour, où l'on suppose que la moyenne des valeurs s'approche de la vraie valeur). La moyenne subjective est calculée avec des données concernant des objets divers (tels que la taille des individus d'une population).

Parmi les moyennes subjectives on peut distinguer des moyennes indices, qui ne mesurent que des variations sans signification particulière (par exemple la taille des hommes, des femmes et des enfants, tous confondus, d'une population donnée) et des moyennes typiques, qui « mesure[nt] l'un des attributs typiques d'un groupe naturel (p. 268) ». C'est ce dernier genre de moyenne qu'on calcule à partir des tableaux statistiques, et qui revêt un intérêt particulier, puisqu'elle permet de dégager des lois sociales ou biologiques, c'est-à-dire des régularités qui correspondent à une catégorie unique plutôt qu'un artifice de l'outil statistique⁸.

D'un côté, Bertillon insiste sur l'idée de moyenne comme rapprochement d'une vérité objective, c'est le cas de la tour. Ce genre d'usage des statistiques dévoile des vérités objectives et s'utilise davantage dans des problèmes d'astronomie, de physique ou de chimie.

La moyenne subjective marque la différence épistémologique entre sciences naturelles et sciences humaines. Mais à l'interne même des sciences

Lottin, *La statistique morale et le déterminisme* sur ledit journal.

8. Il en est une autre [division][...] sur laquelle Quetelet a insisté avec raison : c'est celle qui dépend de la nature même de la collectivité dont on détermine une grandeur moyenne, suivant que, dans un dernier cas, les individualités qui la forment concourent vers un seul type, constitue un groupe naturel, telle serait la taille moyenne [...] d'une collectivité constituant une nationalité homogène [...] (ibid., p. 267-268)

humaines se dessine un sens de moyenne qui pointe sur quelque chose de totalement artificiel, alors que d'autres types de moyennes pointent sur des entités au statut hybride.

Bertillon parle de *moyenne typique* pour ce genre de moyenne. Tout en étant subjectives, car elles nous parlent d'une catégorie dont nous sommes les créateurs (telle que la taille d'un cheval moyen), elles ont une signification qui peut servir à formuler des lois sociales. La moyenne est vue comme révélatrice d'une 'propriété naturelle' du groupe étudié, pourvu que ce groupe possède un caractère homogène. Nous dirions aujourd'hui que les individus dont il se compose suivent une distribution régulière. Cette distribution régulière, une gaussienne, est qualifiée de « mystérieuse (Bertillon, 1876b, p. 297) » par Quetelet, selon ce que Bertillon nous raconte. Tout en se distribuant de manière analogue aux erreurs d'une mesure physique, ce cas de figure n'est pas naturel au sens de la physique :

[...] les moyennes typiques ont, en outre, un résultat plus élevé. Au milieu de la complexité des variations individuelles, elles nous aident à découvrir les modifications caractéristiques des groupes naturels ; elles seules permettent de mesurer ces modifications, d'en caractériser l'importance, d'en saisir les mouvements à travers l'espace et le temps, c'est pourquoi elles sont surtout précieuses pour le naturaliste, et notamment pour l'anthropologue et le démographe (Bertillon, 1876b, p. 308)

La séparation des moyennes de Bertillon indique des usages différents et des modes d'inférence statistique révélateurs de la partition disciplinaire entre sciences naturelles et sociales, ce qui contribue à séparer davantage ces deux champs disciplinaires. De l'autre, il affiche une sensibilité envers l'interprétation de l'outil et son application aux données, qui nécessite de la part de ces données d'avoir une distribution qui se prête au traitement.

Les lois sociales agissent au niveau macroscopique, et dans l'analyse de la plupart des auteurs, elles n'ont que peu ou pas d'impact sur l'individu singulier qui demeure libre et responsable de ses actes. Néanmoins, certains auteurs ont des positions plus nuancées sur la question.

C'est par exemple le cas du philosophe français Alfred Fouillée, qui dans son œuvre *La liberté et le déterminisme*, discute à la fois le déterminisme laplacien, et notamment la question des solutions multiples aux équations

différentielles, ainsi que le déterminisme comme cause des régularités statistiques. Tout en étant attentif à ne pas exclure la liberté individuelle du domaine des possibles, il admet que l'existence des lois sociales que les régularités statistiques semblent dévoiler contraignent et réduisent la place de la liberté individuelle. Ainsi le déterminisme semblerait prendre de plus en plus d'importance dans la compréhension du monde, alors que l'idée même de liberté individuelle bat constamment en retraite.

En résumé, on ne peut pas faire de la statistique une preuve apodictique du déterminisme, comme l'ont prétendu certains savants trop pressés de conclure : la statistique se borne à compter le nombre de fois qu'un même dessin revient dans la tapisserie des événements ; elle ne nous découvre pas directement les fils mêmes et les lois du tissage. Mais elle permet d'induire de la constance des dessins à la constance des lois qui les amènent. En outre, la connaissance directe et progressive de ces lois naturelles rend de plus en plus invraisemblable le libre arbitre attribué aux derniers éléments qu'elles régissent. Par les lois de la statistique et leur entrecroisement, le libre arbitre est resserré dans un domaine indéfiniment décroissant, et le déterminisme devient d'autant plus étendu qu'on pousse plus loin l'analyse. (Fouillée, 1890, p. 176)

Fouillée traite aussi en détail de la question du déterminisme queteletien dans un article dans la *Revue Philosophique de la France et de l'étranger* de 1883. Il s'intéresse en particulier aux arguments utilisés pour montrer la compatibilité des statistiques avec le libre arbitre, et les disqualifie les unes après les autres. Parmi les arguments proposés, certains sont particulièrement intéressants en vue du débat que nous concerne (ibid. p. 603-610). Les arguments de Fouillée ont subi des attaques, voici comment il y répond :

- **La loi des grands nombres concernerait le collectif, et ne peut donc pas déterminer les actes individuels.** Fouillée répond que les lettres envoyées sans adresse dévoilent des « aberrations de mémoire », et suivent une statistique régulière tout aussi bien que les suicides. Fouillée considère donc que la régularité macrosociale suit d'une loi individuelle. Les erreurs d'adresse ne sont certainement pas volontaires ; il est donc incorrect de déduire cela pour les suicides, ou tout autre acte analysé par la statistique. En général, une régularité ma-

- rosociale témoigne donc d'une détermination au niveau individuel.
- **La loi des grands nombres est approximative, comme toute autre loi de la nature.** Fouillée estime que les erreurs dans une loi peuvent s'expliquer par l'influence d'autres lois particulières, et que cet argument serait tout aussi valable contre la loi d'Archimède, ce qui n'est pourtant pas un argument accepté.
 - **La détermination du tout n'entraîne pas la détermination des parties.** Une critique de l'argument de Renouvier, selon lequel la régularité macroscopique n'implique pas la prédétermination des individus singuliers (voir au point 3.6). Mais comment justifierait-on une régularité si ce n'est par l'action d'une quelconque loi déterministe? Fouillée utilise une fois de plus l'argument laplacien que si l'on connaissait mieux les détails on pourrait tout prédire.
 - **Les moyennes changent avec le temps,** mais nous dit Fouillée, cela peut être dû à l'action de lois sociales : le progrès intellectuel, l'adoucissement des moeurs, et autres changements sociaux, plutôt que l'action libre des individus.

De manière générale, Fouillée ne donne pas d'arguments en faveur du déterminisme, mais plutôt contre les tentatives de conciliation entre statistique et liberté. L'idée générale est d'interpréter la société avec les mêmes outils intellectuels utilisés dans les sciences naturelles. Fouillée critique en particulier les idées qui voudraient traiter des phénomènes analogues par des méthodes différentes uniquement parce qu'ils sont naturels ou sociaux.

La coordination entre macro et micro, c'est-à-dire entre des lois sur le comportement agrégé et des lois sur l'individu singulier sont au centre des préoccupations. Il s'agit notamment de comprendre dans quelle mesure la régularité qu'on observe au niveau du comportement agrégé, souvent interprétée comme la conséquence de lois qui agissent au niveau social, est conséquence d'autres lois, microscopiques et plus fondamentales, qui agiraient au niveau individuel. La question est donc si et dans quelle mesure une forme de réductionnisme est possible. Parallèlement à cette question se pose celle de l'influence que l'action individuelle peut avoir au niveau social. En effet, dire que l'individu n'obéit pas directement à des lois, c'est-à-dire refuser le réductionnisme du macro au micro, ne suffit pas à esquiver entièrement le problème du déterminisme. En effet, si la régularité sociale suit

des lois déterministes qui opèrent indépendamment des individus, alors ceux-ci sont emportés par les lois, indépendamment de leur choix individuel. Peu importe ce qu'ils font, ils ne sont pas moins contraints dans leur liberté. La question de l'impact de l'action individuelle au niveau social se pose donc aussi dans le sens de la rétroaction des lois sociales sur l'individu.

Dans un article de 1872 Flechey⁹ considère la possibilité d'actions individuelles qui auraient un effet au niveau social. Dans un tel cas, le libre arbitre pourrait avoir un impact au niveau social. Néanmoins, ces actions ne seraient jamais celles originellement recherchées par l'actant. En ce sens le libre arbitre se refléterait au niveau social comme un phénomène purement aléatoire, qui engendre des conséquences hors du contrôle direct de l'individu. « Il en résulte que le libre arbitre individuel participe d'une façon [...] complètement indéterminée, à l'apparition d'une action collective (Flechey, 1874, p.38) ». Le non-réductionnisme sauve le libre arbitre, mais empêche aussi un contrôle de la part de l'individu sur le comportement agrégé ; c'est le revers de la médaille.

Mais cette idée implique aussi quelque chose sur le traitement de l'individu d'un point de vue macrosocial : si l'action de l'individu singulier n'est pas prévisible, il est justifié de traiter son action comme du hasard : l'individu devient alors une probabilité, une variable aléatoire, ce qui justifie le traitement statistique dans un sens nouveau.

Flechey analyse aussi un cas que nous intéresse spécialement : il y a des phénomènes pour lesquels les individus singuliers se répartissent uniformément autour de la moyenne, par exemple suivant une distribution gaussienne. Mais il y en a d'autres, dont la distribution peut être extrêmement irrégulière ; il y en a même de particulièrement complexes « dans lesquels interviennent surtout l'intelligence et la moralité de l'homme (p.44) » pour lesquels il est impossible d'évaluer l'éloignement de chaque individu par rapport à la valeur moyenne. C'est entre autres le cas (l'exemple est de Flechey) de la disposition à l'enchère des porteurs d'une marchandise. Car « [l]es sciences morales comportent en effet un élément spécial irréductible. L'intensité même du besoin est variable et est aussi bien conséquence que cause. Les valeurs, les prix, les échanges reposent sur des phénomènes qui s'enchaînent, mais d'une façon très complexe, [...] (ibid., p. 43) ».

9. Le nom de Flechey apparaît parfois orthographié Fléchey avec accent, parfois sans.

La réflexion de Flechey touche à l'irréductibilité de certaines grandeurs sociales à leurs composantes en termes d'individus. La grandeur macroscopique existe et est observable (le prix), alors que la grandeur microscopique sensée engendrer ce prix (la disposition à l'enchère) ne l'est pas. Dans un tel cas, « il est impossible [...] de relever la déviation moyenne des éléments individuels qui concourent à la formation des types moyens de comparaison [...] (ibid., p. 45) ».

Flechey ne fournit pas seulement un exemple, mais également un nom, celui de Walras.

Nous croyons devoir citer, [...] la réponse récente faite par MM. Wolowski et Levasseur, à M. Walras [...]. M. Walras présentait à l'Académie des sciences morales et politiques un mémoire renfermant une théorie de l'échange basée sur le caractère physique et mathématique que l'auteur attribue, à l'exemple de quelques statisticiens, à l'économie politique pure. Une série de courbes [...] lui permettait de déduire une définition analytique de l'échange, ainsi qu'une formule scientifique de la loi de l'offre et de la demande. « Mais, comme le firent observer les académiciens cités plus haut, on ne peut pas exprimer mathématiquement les dispositions à l'enchère des porteurs d'une marchandise ! (ibid. p. 42-43)

Nous pensons que la critique à Walras est en partie due au problème, qu'on vient de mentionner, de la mesurabilité des valeurs individuelles par rapport à une grandeur macrosociale.

La forme mathématique choisie par Walras, la mécanique rationnelle, crée un pont direct entre des variables agrégées (telles qu'un prix d'équilibre) et des variables liées aux individus (la disposition à l'enchère). Or, le genre de lois dont Walras parle semble pour Flechey décrire directement des individus, plutôt que, comme c'est le cas des statistiques, des groupes agrégés d'individus.

Toute la critique de Flechey s'élève contre l'idée qu'on puisse identifier de véritables lois faisant le pont entre comportement individuel et comportement agrégé en ce qui concerne les valeurs morales ; un tel pont mettrait sérieusement en doute le genre de liberté déjà précaire que Quetelet accorde aux individus dans la société. Il y a un conflit profond entre des lois déterministes et l'idée de libre arbitre, un conflit que la séparation entre niveaux

de description permet d'esquiver.

le véritable but des travaux statistiques consistera plutôt dans l'étude des rapports économiques des divers faits sociaux que dans la détermination *de lois* dont tous les éléments d'appréciation ne sont pas encore suffisamment connus. (ibid. p. 48)

Nous trouvons confirmation des préoccupations concernant le rapport entre mathématisation, lois sociales et déterminisme en France, dans les échanges épistolaires entre Walras et Cheysson ; le 6 juillet 1885 Walras écrit à Cheysson, sur suggestion de Haton de la Goupillière afin de lui transmettre une partie de ses écrits. Le 10 juillet de la même année, Cheysson écrit à de la Goupillière et manifeste son appréciation positive des travaux de Walras, malgré sa crainte initiale. Il s'exprime ainsi :

En principe, je crois peu au succès des tentatives ayant pour objet d'enfermer dans des formules algébriques les phénomènes où la liberté humaine est en jeu. Les équations négligent forcément quelque donnée qui fausse les conclusions tout en leur donnant une dangereuse apparence de rigueur. (Walras, 1965, E. Cheysson à H. de la Goupillière, 10 juillet 1885, p. 62)

Si d'un côté la pacification entre statistique, lois sociales et déterminisme était en train de lentement se faire, grâce aussi à l'affaiblissement de la notion de loi sociale, par rapport aux lois naturelles, nous pensons que le traitement mathématique de Walras, qui utilisait un outil typiquement issu des sciences naturelles, et qui pouvait faire penser à un réductionnisme semblable à celui des sciences physiques, avait plus d'une raison d'éveiller des craintes quant à sa compatibilité avec le libre arbitre. Walras allait pour ainsi dire à contre sens de la mouvance de son temps : si les statisticiens oeuvraient pour une émancipation des 'lois sociales' par rapport aux 'lois naturelles', Walras oeuvrait pour une assimilation des deux, quoiqu'il soit discutable de savoir jusqu'à quel point il en était conscient. Nous allons creuser ce point davantage au chapitre 4.

L'accueil des mathématiques en économie ne fut pas critiqué en bloc. On trouve aussi des avis positifs sur l'usage des mathématiques, avis qui lient les outils walrasiens aux idées de Quetelet.

C'est par exemple le cas de Gustave Fauveau, un polytechnicien français. Dix ans après Flechey, Fauveau signe un article court, mais dense pour le *Journal des économistes*. Il a été dit que la réception de Walras en France est fondamentalement un échec silencieux, avec quelques rares critiques négatives (Zylberberg, 1990). Fauveau, comme Zylberberg le remarque d'ailleurs, est une exception. Adeptes de l'école libérale et collaborateurs du *Journal des économistes*, il défend l'usage des mathématiques en économie (Fauveau, 1882).

Il y est question notamment de libre arbitre et d'homme moyen. Fauveau accorde l'existence du libre arbitre, mais affirme que cette liberté ne peut être que fort limitée, et qu'en aucun cas elle ne peut empêcher de formuler des lois mathématiques de l'économie. La clé de résolution du conflit entre le comportement individuel et les lois sociales est l'idéalisation représentée par l'homme moyen; en étudiant l'homme moyen, l'économiste esquivait à la fois le risque de comportements irréguliers et discontinus, qui empêcheraient un traitement mathématique, et peut justifier des hypothèses de travail, telles que des individus maximisant leur richesse ou minimisant leurs efforts.

L'homme moyen cherche à se procurer le *maximum* de richesses, moyennant le *minimum* de sacrifices, tout en respectant certains principes de morale plus ou moins rigoureux suivant les temps et les lieux (ibid. p. 262).

Ces hypothèses de travail ne sont pas anodines. Fauveau justifie l'attribution de loi microscopique, décrivant l'homme, sur la base d'une hypothèse d'uniformité, l'homme moyen. Or l'homme moyen est une fiction microsociale qui sert à fonder des lois macrosociales. Le parallèle avec la physique nous semble en ce cas intéressant. La physique construit des hypothèses sur son niveau microscopiques qui permettent de fonder l'observation macroscopique. Peu importe que ces hypothèses n'aient pas de justification empirique (en physique elles ne peuvent en avoir, dans la mesure où personne ne peut observer à cette époque le comportement atomique), la justification réside dans le fait qu'on retrouve, en partant de telles hypothèses, les lois macroscopiques auxquelles on a accès empiriquement. Fauveau semble ici emprunter un même chemin, à l'exception notable que le niveau microsocial lui est accessible empiriquement, et que l'homme n'est pas tout à fait tel que Fauveau le décrit.

On peut identifier dans la phrase de Fauveau, deux hypothèses : l'individu est infiniment égoïste, se procurant « le maximum de richesses » et infiniment rationnel, « moyennant le minimum de sacrifices ». Avec un regard rétrospectif, on ne peut pas éviter de penser à la critique que Poincaré adressera à Walras (Jaffé, 1977), concernant justement ces deux mêmes hypothèses. La construction d'une réalité microsociale fictive, évidemment en conflit avec ce que l'observation nous montre, est un handicap majeur de l'économie et de la sociologie par rapport à la physique, qui elle peut jouir d'une liberté bien plus grande.

Le libre arbitre humain, suivant Fauveau, ne peut qu'agir en des circonstances particulières, la liberté humaine en étant fort réduite. Les actes des hommes sont donc pour la plupart mathématisables.

Notons que même pour les objets d'usuelle consommation, pour la nourriture par exemple, *le libre arbitre de l'homme est fort limité* [...] On comprend donc comment il se peut que les actes de *l'homme moyen* puissent être soumis à des *lois constantes, parfois mathématiques*. [...] Il semble, en un mot, que si l'homme a son libre arbitre dans bien des cas, il n'est, dans bien des actes essentiels de la vie, qu'un instrument dans la main de Dieu qui le conduit, par une loi immuable, vers une fin inconnue (ibid. p. 263).

L'homme moyen est vu comme analogue au centre de gravité du 'mobile social', il permet de traiter la société entière en faisant abstraction des singularités individuelles.

L'homme moyen se meut alors comme le centre de gravité d'un système de points matériels, soumis à des forces intérieures et extérieures [...] (ibid. p. 263).

Fauveau justifie donc la possibilité de la mathématisation par une référence directe à l'homme moyen de Quetelet. Dans une note, il mentionne Walras, Cournot et Jevons parmi les savants qui s'associent à cet usage des mathématiques, en liant indirectement le débat sur le libre arbitre aux efforts de mathématisation de l'économie. Ce qui ressort, outre une certaine sympathie pour la méthode mathématique, est la proximité de l'homme moyen et des lois pouvant prendre une forme mathématique. Fauveau reconnaît le besoin de fondements microsociaux pour des lois du comportement agrégé ;

ces fondements trouvent dans l'homme moyen un enracinement optimal. Fauveau reconnaît en fin d'article que « certains caractères importants de l'homme moyen ne sont pas, en réalité, communs à toute l'humanité, et qu'ils n'ont chez lui qu'un degré de *probabilité* ». L'homme moyen est donc clairement fictif, et la probabilité fait son entrée dans la modélisation micro ; c'est au fond une conséquence attendue d'une modélisation statistique qui a dans les probabilités son jumeau mathématique. Néanmoins, par l'introduction du probable dans la modélisation de l'individu, on quitte le terrain de la décision et du comportement rationnel, et on passe à une description qui regarde les individus comme dépourvus de toute identité, des automates déterminés, capables tout au plus de dévier aléatoirement du chemin mathématique qui leur est propre.

3.5 Laissez-faire et lois sociales : le déterminisme au service des idées libérales

La question du déterminisme et du libre arbitre est l'arrière-plan d'un deuxième débat, dont on trouve des traces dans les pages du *Journal des économistes* en 1883. Émile de Laveleye, un économiste socialiste, avait publié en 1882 ses *Éléments d'économie politique*. L'une de thèses défendues concernait le statut épistémologique de la science économique, et en particulier sa prétention à formuler des lois exactes et d'être comptée parmi les sciences naturelles. L'ouvrage de Laveleye est commenté par Courcelle-Seneuil (1883a) l'année suivante. La critique est assassine, et n'épargne en rien le travail de Laveleye. En particulier, Courcelle-Seneuil attaque frontalement la position de Laveleye sur les lois économiques.. La question du statut épistémologique de ces lois y est clairement évoquée. Le lien avec la liberté est aussi clairement indiqué : pour Laveleye l'économie ne peut être une science exacte, « puisqu'elle s'occupe des besoins de l'homme, qui varient sans cesse, et de ses actes, qui sont libres » (ibid. p. 325) ; cependant, Courcelle-Seneuil nous fait remarquer que « si les actes humains sont libres, [...] ils sont motivés d'une manière constante (ibid. p. 325, cité par Laveleye) » et donc qu'il est possible de les exprimer en forme de loi.

Gallois (2007) nous informe plus en détail sur ce différent. Laveleye distinguait deux types de lois, naturelles et sociales. Les lois naturelles sont du domaine extraéconomique, elles sont nécessaires et générales, alors que

les lois sociales, contingentes, sont créées par l'homme. Si les lois naturelles ne laissent point de place au libre arbitre, les lois sociales sont au contraire une conséquence de ce libre arbitre. Des normes qui pourraient passer pour des lois telles que par exemple « l'homme est guidé par son propre intérêt » ne comptent donc pas au nombre des lois naturelles, puisqu'il ne s'agit pas d'une loi nécessaire (parfois l'homme est altruiste). De même en arrière-plan de l'idée de Laveleye il y a l'idée que les lois économiques, fixées par l'homme, sont des lois morales, alors que les lois naturelles, sur lesquelles nous n'avons pas prise, sont étrangères à toute question morale.

En avril 1883, visiblement contrarié par la critique de Courcelle-Seneuil, Laveleye répond au *Journal des économistes*, pour y défendre sa position. Il met au clair la différente valence normative des lois naturelles et sociales

M. Espinas [...] écrit ceci « Quand la science est arrivée sur un point déterminé à un état de perfection relative, elle a pour objet non ce qui doit être, mais ce qui est. » [...] Or ce qui dit M. Espinas peut être juste pour les sciences exactes ou naturelles, mais nullement pour les sciences morales et politiques, ou il s'agit, au contraire, toujours d'obligations et de devoir. [...] ce qui est certain c'est que l'économie politique étant une science morale et politique, s'occupe de ce qui doit être, non de ce qui est (Laveleye, 1883, p. 94-95).

Laveleye insiste sur le rôle que la liberté individuelle joue en économie et sur son importance :

tous les faits économiques émanent de notre faculté de vouloir, et nos actes de volonté ne ressemblent nullement « à la circulation du sang, à la respiration ou à la digestion ». Ces actes sont libres [...] (ibid. p. 96)

C'est là le cœur de la dispute : pour Courcelle-Seneuil, les lois économiques ne découlent pas de la volonté individuelle, mais s'imposent aux hommes pareillement que les lois naturelles, alors que pour Laveleye, les deux types de lois ont une nature fondamentalement différente. Laveleye insiste en particulier sur l'incapacité des lois sociales de prédire ce qui va se passer. Une impossibilité due à la nature imprévisible de la liberté humaine. L'enjeu est selon Laveleye la possibilité d'inclure le laissez-faire des économistes libéraux dans les lois naturelles, et de le soustraire ainsi à toute

critique normative, en le déguisant justement sous une forme positive.

Si l'économie politique n'est que la petite collection de Truismes que vous appelez des lois naturelles, elle se trouverait contenue tout entière dans nos manuels élémentaires ou plutôt elle se résumerait en deux mots : *Laissez faire, laissez passer*. Les lois de la nature agissant nécessairement, comme « la digestion chez l'homme », il n'y aurait pas lieu de s'en occuper. *Il mondo va da se*. (ibid. p. 102)

La réponse ne se fait pas attendre. Courcelle-Seneuil (1883b), mais aussi Dameth (1883) et Block (1883), répondent au socialiste Laveleye qui depuis « quinze ou vingt ans [...] tient sans relâche campagne contre nous (Dameth, 1883, p. 260) ». C'est donc une véritable querelle entre écoles, libérale d'un côté, socialiste de l'autre. L'entreprise virulente de démolition de Laveleye n'épargne aucun moyen. Les libéraux refusent en particulier de séparer normatif et positif ; les lois économiques sont naturelles, et leur découverte permet de connaître donc ce qui est vrai, juste et bon.

Il y a donc un type, un idéal qui est l'ordre vrai et vers lequel tout marche à l'aide du progrès. Eh bien, c'est cela qui est la science, car c'est ce que l'observation des faits indique comme leur loi naturelle, c'est-à-dire comme leur état normal et bon, que les hommes s'y soumettent ou ne s'y soumettent pas. (Dameth, 1883, p. 263-264)

L'enjeu libéral, on le voit bien, est donc de justifier l'obéissance à des principes et idées qui sont selon eux dans la nature, et pour cette raison sont donc plus justes que d'autres. Une loi naturelle est une loi bonne. Mais encore il faut que ce soit effectivement une loi, et donc qu'elle soit à un certain degré nécessaire ; qu'elle découle spontanément de la nature des choses. Ainsi l'indétermination n'y est nullement bienvenue. Au contraire, pour Laveleye, qui met au centre du social la liberté humaine, les lois sociales ne sont que des dispositions émises par des hommes, et en tant que telles questionnables. On peut les changer et les modifier à notre gré ; mais cela nécessite alors qu'elles ne soient nullement déterministes, sous peine de ne point pouvoir agir sur elles.

Le débat soulevé par l'ouvrage de Laveleye forcera les libéraux français, et en particulier Molinari, à clarifier le statut des lois économiques, et à en

discuter davantage (Gallois, 2007).

3.6 Quetelet sous les Fourches Caudines : un changement de perspective

Plusieurs critiques, parfois très dures, se lèvent contre les idées de Quetelet et Buckle sur la régularité statistique et sa signification. Elles sont motivées à des niveaux différents, philosophiques et techniques, parfois les deux en même temps.

La réaction antiqueteletienne s'articule parfois plus contre une certaine lecture de Quetelet que contre ce que l'auteur lui-même a effectivement défendu.

Certains auteurs s'efforcent de nuancer Quetelet ou de le lire en perspective, notamment par une analyse de ses propos les plus controversés. Ce sera tout particulièrement le choix de ces auteurs qui, voulant défendre Quetelet, essaieront de montrer que ses propos ne remettent pas véritablement en cause l'idée de libre arbitre.

C'est le cas par exemple de Renouvier¹⁰, dans son journal, *La critique philosophique*. Dans un article en deux parties (Renouvier, 1880b,c), Renouvier cite Buckle, et dénonce ses propos excessifs. Il s'exprime néanmoins beaucoup plus prudemment envers Quetelet, en se montrant intéressé à l'idée de lois statistiques, et de prévisions des comportements sociaux.

Le rapport entre probabilité et statistique est au cœur de la réflexion de Renouvier. Il s'agit pour lui de montrer que probabilité ne signifie pas forcément 'ignorance des conditions d'un phénomène', mais qu'on peut modéliser par une probabilité des phénomènes véritablement indéterministes.

Renouvier montre une fine compréhension des outils probabilistes et des enjeux : à l'aide de l'analogie de l'extraction de boules bicolores d'une urne, il explique le cœur du problème. Renouvier nous dit que l'extraction d'un grand nombre de boules d'une urne permet d'estimer la proportion de boules de chaque couleur dans cette même urne, sans la connaître auparavant ; néanmoins dans le cas d'une urne, les billes possèdent une couleur

10. Pour un aperçu des contributions de Renouvier, philosophe néokantien français, à la théorie des probabilités et à ses rapports avec la liberté voir notamment Gunn (1932) et Keeling (1931)

déterminée avant l'extraction, ce que nous pousse à croire, par analogie, que la probabilité exprime un manque de connaissance. Néanmoins, ce n'est pas forcément le cas : si une urne contenait des boules incolores, qui à l'instant même de l'extraction devenaient soudainement colorés, et cela avec une certaine probabilité, les résultats d'extraction seraient les mêmes qu'avec une urne traditionnelle. Ainsi la présence de régularités fixes ne nous dit rien sur la prédétermination du résultat : dans le cas des boules, elles sont d'une couleur donnée avant l'extraction, mais dans le cas des individus criminels, le fait qu'il y ait une quantité fixe de criminels tout facteur social étant égal par ailleurs, n'implique pas que certains individus soient obligés d'être criminels.

Lorsqu'en un certain genre d'actions humaines, il arrive que, toutes les circonstances sociales étant supposées égales et constantes, il se produise une de ces actions en un sens, contre dix autres en sens contraire, on admettra légitimement que le rapport d'un à dix, vérifié avec approximation d'année en année, fournit la mesure approximative des causes qui agissent dans le second sens, comparativement à celles qui agissent dans le premier, en telle société donnée. [...] : mais on ne conclura pas de là légitimement que l'individu particulier a été prédestiné à son acte, de même que la boule noire porte sa couleur avant de sortir ; [...] Rien donc n'empêche que chaque boule ait pris, n'importe comment, sa couleur au moment où elle sort, [...] (Renouvier, 1880c, p. 35).

L'analogie mécanique sert pour une fois à montrer une différence entre physique et sciences humaines ; elle explique aussi qu'une interprétation des probabilités de type fréquentiste puisse se comprendre à la fois comme étant épistémique ou ontologique. L'idée de probabilité comme fréquence est indépendante du déterminisme ou de l'indéterminisme, et donc l'outil mathématique en ce cas, s'il est compris de la juste façon, ne nous dit rien sur la question du déterminisme.

Néanmoins, la régularité statistique montre bien, selon Renouvier, qu'il y a des causes agissantes sur les individus, qui leur font avoir une probabilité plus ou moins prononcée de commettre un crime ou pas ; c'est en ce sens qu'il faut comprendre le penchant au crime : comme une probabilité.

Le penchant ici n'est qu'un nom ; la chose définie est une *probabilité*. Dans cette probabilité, il est fait abstraction de l'individu et de son libre arbitre, ainsi que nous l'avons expliqué ci-dessus, et ce qu'elle mesure, c'est la force moyenne des actions tentatrices (ibid. p. 38-39).

La probabilité permet donc de mesurer la tentation moyenne, le penchant moyen, abstraction faite de la liberté individuelle.

Renouvier concède un point fort important : que les régularités statistiques, tout en limitant la sphère d'action individuelle, nous permettent une liberté nouvelle, la possibilité d'agir au niveau social, institutionnel, coutumier, afin d'en modifier les conditions générales. Conditions qui sont la raison déterminante des tentations auxquelles les individus sont soumis. Le déterminisme statistique n'est donc que l'expression d'une probabilité, mais cette probabilité est d'une grande utilité puisqu'elle permet de comprendre davantage la structure complexe de la société dans son ensemble

la détermination collective, exprime, au fond, pour la science rigoureuse, une *probabilité* [...] (ibid. p. 41)

Renouvier reconnaît donc les bienfaits de la statistique, et l'apport qu'elle permet dans la compréhension des régularités : l'argument déterministe est renversé. Connaître le penchant au crime des individus et en étudier les causes permet de diminuer ce même penchant, et donc permet une plus grande efficacité des actions libres des individus. Renouvier reviendra deux ans plus tard sur la même question, mais avec bien moins de détails (Renouvier, 1880a), afin de critiquer une opinion de du Bois-Reymond. À cette occasion, il discutera un passage du mémoire de Boussinesq, en montrant à quel point les deux questions sont reliées dans sa réflexion (voir à ce propos le chapitre 6).

D'autres chercheurs se montrent moins conciliants. Dans un volume 'juubilé' de la statistical society of London, William A. Guy (1885) inclut par exemple une annexe sur les régularités qui ont étonné Quetelet, dans le but de montrer qu'elles n'ont rien d'étonnant.

L'auteur essaie de montrer que le parallèle entre régularités sociales et physique de Quetelet n'a pas de sens et en particulier que des phénomènes physiques peuvent être hautement erratiques.

Quetelet misapprehended the true facts of the case when he assumed, on the one hand, the stability of the physical world, and, making that his standard of comparison, saw in the leading facts from social life an analogy which had no real existence (ibid., p. 86).

Si le monde physique présente des irrégularités macroscopiques (météorologie, maladies infectieuses), alors qu'on le suppose déterministe à l'échelle microscopique, on ne peut pas déduire de la régularité statistique un déterminisme microscopique. Induire à ce point des régularités sociales un déterminisme sur le comportement des individus c'est mettre la charrue devant les bœufs ¹¹.

En revanche, l'action du libre arbitre peut être vue comme une cause stabilisante, et donc une plus grande régularité sociale peut être vue comme le résultat de l'action de la liberté individuelle. Pour le moins, le rapport entre régularité statistique et déterminisme des constituants ne tient pas la route (même si Quetelet lui-même n'avait jamais vraiment prétendu cela).

Dans un court manuel de statistique Giuseppe Majorana-Calatabiano (1889), un statisticien et professeur italien de l'Université de Catania, dédie quelque page à '[l']elegante questione [...] della libertà di volere considerata in rapporto alle leggi statistiche ¹²'. Majorana expose une série d'objections au déterminisme qu'on pourrait déduire des régularités statistiques :

1. les régularités statistiques peuvent au plus montrer que l'action humaine est déterminée, mais elles ne peuvent rien dire sur la volonté, et ce sont là deux questions différentes.
2. les données statistiques, loin d'être parfaitement constantes, oscillent autour de certaines valeurs, ce qui ne permet pas de déduire un déterminisme strict.
3. l'uniformité peut être obtenue seulement si l'on considère de très

11. Nous comprenons le raisonnement de cette façon : ce que Guy affirme c'est qu'il existe au moins un cas dans lequel le déterminisme microscopique implique l'indéterminisme macroscopique. De cela on peut déduire à son avis que du déterminisme macroscopique on peut déduire de l'indéterminisme microscopique. Logiquement si $det_m \rightarrow indet_M$ alors $det_M \rightarrow indet_m$. Le raisonnement se tient logiquement si et seulement si $\neg det \sim indet$, c'est-à-dire que déterminisme et indéterminisme sont complémentaires et que tout monde possible est soit déterministe soit indéterministe ; or cette hypothèse paraît délicate.

12. La question élégante de la liberté considérée en rapport aux lois statistiques.

grands nombres, et seulement avec des procédés particuliers (référence probable au calcul des moyennes).

Les objections de Majorana sont d'ordre partiellement métaphysique, mais ont un caractère épistémique important. Si d'autres auteurs avaient déjà remarqué que la régularité statistique ne prouve pas l'absence de choix, Majorana met le doigt implicitement sur la différence entre mécanisme causal et corrélation. Un mécanisme causal nécessite une régularité parfaite, et est une assertion de type ontologique. Il lie deux phénomènes l'un à l'autre, alors que la statistique permet tout au plus de montrer une concomitance phénoménologique : en présence d'un fait, on se retrouve souvent à observer un autre fait. Que cette concomitance ne soit pas systématique montre bien qu'on ne peut pas parler de déterminisme *strictu sensu* ; qu'une régularité soit aussi un mécanisme causal (et donc une loi naturelle, au sens de la physique) est loin d'être trivial.

De plus, l'intérêt pour les grands nombres et pour l'outil en soi-même témoigne d'une attention particulière pour l'aspect artificiel du traitement statistique. Au fond, c'est parce qu'on calcule des moyennes, et parce qu'on décide de construire ces moyennes suivant une certaine répartition catégorielle que nous choisissons, qu'on retrouve des régularités. On peut, si l'on veut, deviner dans l'argument de Majorana une ébauche des critiques constructivistes de la connaissance : c'est notre propre choix d'outils qui engendre un certain résultat.

Quant à l'homme moyen, il s'attire les foudres empreintes de sarcasme de Bertrand (1889). Dans son 'Calcul des probabilités', l'homme moyen n'est plus qu'une fiction risible, dépouillée de toute utilité et valeur.

Ce n'est pourtant pas le dernier mot sur la question : bien que désormais la régularité statistique ait perdu son côté le plus mystérieux et fascinant, elle continue à engendrer des discussions. L'attitude des sociologues envers les mathématiques en France a lentement évolué. L'usage des mathématiques commence à se faire sa place, et les statistiques ne sont plus critiquées d'entrée de jeu. Fahlbeck (1900), un statisticien suédois, écrit pour le *Journal de la société statistique de Paris* un article assez rétrospectif sur les régularités statistiques. Il y est notamment question de causes qui se cachent derrière les régularités statistiques. Fahlbeck souligne que ces causes ne sont pas dévoilées par la statistique et demeurent inconnues. Le papier est présenté

le 18 avril face à la société statistique ; Levasseur, président de la société, est absent, mais un débat s'ensuit autour de l'ancienne question des régularités. Les propos sur le libre arbitre de Quetelet y sont discutés comme étant une réaction compréhensible face à des régularités étonnantes et dues à des données de mauvaise qualité, une conséquence normale de moyens de travail limités propres à une époque révolue. Quetelet y est loué comme un savant de grande valeur intellectuelle et scientifique, précurseur des idées statistiques, mais dont les conclusions sont parfois faussées ou imprécises. L'usage des mathématiques en sciences humaines est regardé de façon partagée : si les statistiques ne posent pas de problèmes, l'usage des travaux « purement mathématiques et biologiques qui ont eu quelquefois pour effet d'exagérer la portée de certaines découvertes (1900, p. 147) » est encore vu comme problématique.

M. Flechey prend la parole pour rappeler une fois de plus que les régularités ne doivent pas amener à des conclusions contre le libre arbitre. Il argumente en particulier contre toute généralisation des régularités aux lois absolues. Coste réplique qu'il est tout de même possible d'appliquer le calcul à la collectivité sociale, bien que les individus y échappent. Le procès verbal ne donne pas davantage de détails ; la statistique ne semble plus poser des problèmes de conflit avec le libre arbitre, car le lien dangereux du réductionnisme a été brisé, et les régularités dans les comportements d'ensemble sont considérées compatibles avec la liberté individuelle.

3.7 Nouveau siècle : Quetelet revisité

Le débat sur les régularités statistiques se retrouve, sous les différentes critiques qu'il reçoit, fortement reconsidéré. La compréhension des probabilités en des termes fréquentistes permet d'associer le hasard à un phénomène naturel au lieu qu'a une méconnaissance du sujet. L'usage de la statistique en physique, un domaine dans lequel on n'associe d'habitude pas libre arbitre et mouvement des atomes, affaiblit énormément l'étonnement qu'on peut prouver face aux régularités des moyennes. Des régularités apparaissent surtout en présence de comportements erratiques des atomes. De plus en plus, la distribution gaussienne est simplement associée aux observations nombreuses, autrement dit à la loi des grands nombres. Le débat philosophique met en avant toute sorte d'arguments empêchant un rapport

direct entre régularité de l'action collective et détermination de l'agent.

Cependant, des traces du débat subsistent : Joseph Lottin (1908a), professeur de philosophie, écrit une série d'articles sur Quetelet, dont deux ont trait à la statistique morale (Lottin, 1908a, 1911). Lottin est plutôt tendre avec Quetelet, mais il montre une prudence remarquable et une bonne compréhension de l'outil statistique.

Il mentionne les phénomènes thermodynamiques (la température) parmi ceux qui suivent une distribution binomiale, afin de montrer que des régularités et distributions semblables à celles qu'on rencontre en sciences humaines existent en physique.

En ce qui concerne les faits sociaux, Lottin distingue les causes accidentelles, qui font dévier des individus de façon erratique par rapport à la moyenne, des causes constantes qui agissent conformément à la moyenne. Les causes accidentelles s'annulent les une avec les autres, et en conséquence si le nombre d'observations est élevé, nous dit Lottin, on tendra à converger vers la moyenne, et on verra apparaître les causes constantes. Il propose l'analogie avec une urne remplie de boules bicolores dans une proportion connue. Plus l'on extrait de boules, plus le rapport de boules de chaque couleur s'approche de la vraie proportion de boules. Lottin comprend bien l'idée de probabilité de tirage, et le rapport entre probabilité et régularité statistique. Il admet qu'une régularité statistique n'implique pas forcément l'action d'une loi naturelle. Il est cependant possible d'appliquer les résultats statistiques à la masse des individus ; bien évidemment, il n'est pas possible de faire de même pour un individu pris singulièrement. Les régularités statistiques ne prouvent donc pas, pour Lottin, le déterminisme en ce qui concerne le comportement individuel. La question de la liberté individuelle est indépendante de la question statistique. Cependant, les régularités statistiques resserrent la liberté individuelle dans un domaine étroit, et permettent dans une certaine mesure de formuler des 'inductions sociologiques' : pas de preuve d'un rapport causal entre faits, mais des tendances dans la société qui permettent de formuler des rapports entre phénomènes sociaux, sans pourtant admettre une prévisibilité semblable aux lois de la physique.

Au fond, Lottin reformule prudemment les conclusions de Quetelet, en les purgeant de leurs aspects plus controversés et radicaux.

L'article de Lottin est d'autant plus intéressant qu'il est repris et publié par le *Journal de la société statistique de Paris* (Lottin, 1908b), avec une préface de la rédaction. Cette reprise est exceptionnelle, dans la mesure où seulement les membres de la société étaient d'habitude censés contribuer à la revue, ce qui fait de M. Lottin une exception ; cette singularité éditoriale témoigne de l'intérêt que le déterminisme statistique revêt encore en France à cette époque.

Quatre ans plus tard Halbwachs (1912) présente une thèse de doctorat sur l'homme moyen de Quetelet, dans laquelle la question du déterminisme est marginalement abordée. Ce travail n'est cependant plus une pièce du débat, mais s'inscrit plutôt dans une optique historique et de méta-analyse. Sans que la controverse ait été entièrement épuisée, la question est en train de se transformer lentement en un sujet historique. On est là en face d'un processus lakatosien d'épuisement d'un programme de recherche. L'homme moyen ne disparaît pas tellement par cause de réfutation, mais parce que les chercheurs directement concernés par la polémique ne sont plus là pour la maintenir en vie, et qu'en même temps elle a épuisé — sans parvenir à une solution unilatérale — tout ce qu'elle avait à dire.

Ce qui reste du débat perd de son rapport étroit avec la théorie de l'homme moyen ; ainsi dans un travail sur l'économie mathématique (Moret, 1915), qui résume les arguments utilisés contre l'application des mathématiques à l'économie en cherchant à les réfuter, nous retrouvons que 'les actes les plus capricieux, comme le suicide ou le mariage, se présentent dans leur ensemble comme constants et uniformes (ibid. p.38)', ce qui montre au sens de l'auteur l'existence de lois économiques. Quetelet n'est pas directement cité (mais il l'est plus tard, dans un autre contexte), et Moret pourrait bien avoir pris sa référence de Durkheim, ou de Pareto.

Pourtant l'argument sonne étroitement proche du débat queteletien ; nous pensons qu'il s'agit là d'un écho qui a oublié, à force de rebonds, sa propre source.

3.8 L'érosion du déterminisme : le probable comme source de liberté

L'issue du débat queteletien fut donc la naissance et le développement de l'idée d'influence du milieu social, et de la possibilité de mesurer, au travers

de l'instrument statistique, cette influence. Sur la question philosophique du libre arbitre, le débat queteletien eut une issue presque paradoxale : non seulement le nom de Quetelet y fut progressivement oublié, mais son argument, qui était de renforcer le déterminisme par les données statistiques, fut également retourné et devint par l'usage des probabilités un argument contre le déterminisme.

Néanmoins, le débat queteletien eut une certaine influence sur d'autres domaines du savoir scientifique, notamment en économie politique. L'image de l'homme moyen fut utilisée comme possible clé de lecture du problème soulevé par Walras à propos du libre arbitre. D'une manière plus générale, Quetelet devint un point central du débat sur la compatibilité entre liberté et lois scientifiques, un noeud du discours qui tout en ayant pas trouvé de solution claire, s'avérera un incontournable des débats semblables dans les années à venir. Qu'il s'agisse du problème de Walras, de Maxwell ou de Boussinesq avec le libre arbitre, trois déclinaisons différentes d'une même question. Quetelet y fera son apparition. En même temps, la solution un peu bancal suggérée par Quetelet, briser le pont réductionniste, gagnera en solidité par l'effet du temps qui passe, et par une plus grande aisance et confiance dans le moyen technique - les statistiques - plutôt que par la qualité de l'argument épistémologique invoqué. Ainsi une solution à l'apparence précaire deviendra une sorte de référence sur comment concilier deux aspects apparemment inconciliables comme le sont déterminisme et libre arbitre. Il en arrivera même que cette solution précaire soit exploitée (nous pensons à Maxwell) comme un calque sur lequel structurer son propre argument de physicien face à un dilemme semblable.

L'historien des idées Ian Hacking (1983) parle d'*érosion du déterminisme* par rapport au processus qui vit s'affirmer le calcul des probabilités et la statistique.

Cette érosion n'était pas l'exclusivité d'un milieu scientifique, tel que nous pouvons le penser de nos jours composé d'une élite de techniciens des statistiques élaborant des modèles. Certains acteurs de la scène scientifique de pointe, tels que de Saint-Venant ou Boussinesq (voir au chapitre 6), étaient aussi au centre de controverses philosophiques, et ceux qu'on considère aujourd'hui des philosophes, Delboeuf, par exemple (on en reparlera au chapitre 6), étaient des savants polymathes. Delboeuf était mathématicien, mais ses contributions importantes ont eu lieu surtout dans le domaine de

la psychologie et de l'hypnose.

L'affaiblissement de la perspective déterministe a lieu à la fois par une meilleure compréhension de la distribution statistique et de la loi de grands nombres, une compréhension qui émerge suite au travail des statisticiens, sociologues, géographes et économistes de l'époque, mais aussi suite à l'affaiblissement du bastion déterministe, en physique, alors qu'on est en train de découvrir les phénomènes chaotiques et la sensibilité aux conditions initiales.

Si la physique doit abandonner le terrain sûr des phénomènes linéaires, pour s'aventurer dans l'incertain et le probable, les sciences humaines s'ouvrent à des nouvelles perspectives d'application des mathématiques, qui nécessitent de repenser radicalement ce qu'est une science. Le débat autour de l'homme moyen de Quetelet en est un cas emblématique.

Chapitre 4

Mettre la liberté en équation : le paradoxe d'un libre arbitre récalculant

La filosofia è scritta in questo grandissimo libro [...] (io dico l'universo), [...] in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto¹

Galileo Galilei

Notre premier chapitre nous a permis d'étudier l'émergence du *thema* mécaniciste en sciences humaines, notamment par l'opposition entre liberté et régularités statistiques. Quetelet avait dû chercher un équilibre entre la possibilité de construire des lois sociales et celle de ne pas nier le libre arbitre des individus. Nous allons maintenant nous intéresser à une question qui présente des aspects semblables à l'interrogation de Quetelet : l'introduction par Léon Walras d'une méthodologie et d'outils techniques imprégnés de mathématiques. Walras, en proposant d'utiliser l'instrument mathématique et tout particulièrement le calcul infinitésimal, propose de fait une quantification du social, en posant par cela implicitement le problème de la liberté. Cependant, contrairement à Quetelet, Walras propose une approche qui

1. La philosophie est écrite dans cet immense livre [...] (moi je dis l'univers), [...] en langage mathématique, et ses caractères sont des triangles, des cercles et d'autres figures géométriques, sans quoi il est impossible d'humainement en comprendre les mots; sans eux, on ne peut qu'errer vainement dans un obscur labyrinthe (ma traduction). (Galilei, 2005, Chap. 6)

modélise davantage le comportement individuel par rapport à l'approche éminemment macroscopique de Quetelet. La réponse au dilemme du libre arbitre de Quetelet, de briser le pont réductionniste entre régularité sociale et comportement individuel apparaît comme plus problématique pour Walras. La réaction de Levasseur au travail de Walras pourra se lire comme une tension autour de cette question du réductionnisme.

Walras ne fut certes pas le premier économiste à appliquer les mathématiques à son domaine. Il y eut des précurseurs, ce dont Walras était lui-même conscient. Cependant, la centralité de l'outil et la quantité d'équations mobilisées permettent d'affirmer que ce fut le premier économiste à faire un usage massif et systématique des mathématiques, bien que cet usage soit confiné à son économie pure. Il y eut, avant Walras, un exemple important d'un ouvrage entièrement dédié à l'économie mathématique : les *Recherches sur les principes mathématiques de la théorie des richesses* de Cournot². Il suffira pour le moment de le mentionner, nous y reviendrons par la suite. Publié en 1838, l'ouvrage devance de plusieurs années la querelle entre Quetelet et les défenseurs de la liberté. Si on prend en compte la réaction très modeste à cette publication, avec seulement trois recensions, dont une inédite de Proudhon, une de Cherrimann dans un journal canadien en 1857, et une troisième très tardive par de Fontenay dans le *Journal des économistes* en 1864, il est permis de penser que Cournot fut très peu lu par ses contemporains. Finalement, la centralité de Walras pour l'histoire de la pensée économique nous paraît parler d'elle-même.

Nous allons donc nous concentrer sur Walras et sur le rôle que la liberté joue dans son travail. Au centre de ce travail, nous préciserons l'accusation que Levasseur fait à Walras, celle de « mettre la liberté en équation ». Avant cela, nous allons étudier le cas de Cournot, et analyser les différences avec Walras, et les raisons qui justifient que le sort de Cournot ne fut pas semblable au sort de Walras.

4.1 Avant Walras : Antoine Augustin Cournot

La question qui s'était posée pour Quetelet, de savoir si lois économiques (ou pour Quetelet lois sociales) et liberté étaient compatibles aura,

2. Un exemple notable d'un traitement mathématique successif à Cournot mais précédent à Walras, se trouve dans l'oeuvre de Whewell (1878)

nous le verrons, une réponse négative de la part de Levasseur. Une telle réponse est d'autant plus curieuse de la part d'un statisticien, qui aurait dû naturellement se ranger du côté de Quetelet sur la possibilité d'utiliser les statistiques en sciences humaines. C'est le signe que les mathématiques de Walras devaient impliquer un souci encore plus important que ne l'avait été les statistiques de Quetelet. Cela s'explique bien si on le regard comme l'avancée du *thema* mécaniciste : les mathématiques de Walras, calqué sur l'exemple des physiciens, ouvertement voués à l'étude théorique plutôt qu'au travail empirique (comme les statistiques) représentaient une avancée supplémentaire d'un mode de penser mécaniciste. Elles prônaient une idée des mathématiques comme outil de recherche qui était typique du mode de réflexion des physiciens. De plus, elles départageaient l'économie en une partie théorique, à étudier analytiquement et mathématiquement, et une partie appliquée, sur un mode analogue à la physique.

Walras reste pourtant un cas relativement isolé en ce qui concerne l'usage des mathématiques en économie. Il s'agit de l'un de pionniers de cette méthode, surtout si l'on pense à l'abondance des formules mathématiques qu'on retrouve dans son travail. Il y eut cependant un prédécesseur notable, qui fit un usage des mathématiques tout aussi massif avec des nombreuses années d'avance, Cournot. La question qui se pose est alors : pourquoi la question de la liberté n'a pas été soulevée avant ? Et qu'en pensait Cournot, qui sur la question du libre arbitre et du déterminisme a écrit des longues digressions ?

Mathématicien, économiste et philosophe, célèbre pour sa théorie du duopole et pour ses écrits d'épistémologie des mathématiques, spécialement en théorie des probabilités (Martin, 2007), Cournot avait sur Walras un avantage considérable de compétence mathématique. Par ailleurs, sur le plan épistémologique et métaphysique il n'avait rien à envier aux plus grands penseurs de son temps. Cournot nous a laissé, outre qu'une contribution remarquable à l'économie, des études très pointues de physique. S'il y a donc un auteur qui avait la connaissance nécessaire à transférer une méthodologie de physicien en économie, c'est bien Cournot. Nous allons discuter dans cette section son apport original à l'économie mathématisée en nous intéressant spécialement au statut épistémologique du langage mathématique dans l'œuvre de Cournot et de la différence qu'il voit dans les

mathématiques appliquées à la physique plutôt qu'à l'économie³. Comme nous allons le montrer, Cournot n'a pas une vision unique des mathématiques : elles sont pour lui parfois dans la nature, capables d'exprimer des faits externes à nous-mêmes, à la manière de Galilée ; d'autres fois, les mathématiques expriment des rapports entre des catégories que nous construisons, et ne peuvent pas prétendre à exprimer des vérités indépendantes de nous. En particulier, ce clivage s'articule autour du domaine d'application : en physique les mathématiques sont comprises à la façon de Galilée, mais pas en économie. Cournot aurait donc pu anticiper l'arrivée de la vague mécaniciste en économie : malgré son usage des mathématiques il prendra néanmoins soin de ne pas importer le mode de comprendre les mathématiques des physiciens en économie.

Ainsi Cournot s'il joue un rôle clé dans le passage des mathématiques de la physique à l'économie, par son usage systématique de cet instrument et par l'influence qu'il a eu, notamment sur Walras (Dos Santos Ferreira, 2011), il n'est pas à première vue du nombre de ceux qui auraient prôné l'application du *thema* mécaniciste en économie. Il joue même un rôle important de mise en garde contre des transferts épistémologiques dans ce genre.

Nous pensons que trois raisons justifient le fait qu'il n'y eut pas de polémiques autour de la question de la liberté à l'encontre de Cournot. Premièrement, comme on l'a déjà dit précédemment, ses travaux furent largement ignorés, avec très peu de réactions à sa publication. Deuxièmement, la publication des *Recherches* en 1838 devance les débats les plus importants autour du travail de Quetelet, et Cournot lui-même figure parmi ceux qui se montrèrent critiques envers le statisticien belge. Troisièmement, Cournot avait une vision épistémologique sophistiquée et était en partie conscient des enjeux qu'impliquait l'usage des mathématiques qu'il discute dans ses travaux.

Nous allons maintenant discuter la compréhension de l'instrument mathématique qui était prônée par Cournot, à la fois en physique et en économie. Nous allons ensuite discuter de la liberté et du déterminisme selon Cournot, et essayer de comprendre de quelle façon cela se relie à son usage

3. Il y a une bibliographie assez vaste sur l'apport de Cournot en économie ; nous proposons quelques titres représentatifs, mais non exhaustifs à ce propos (Ménard, 1978; Vatin, 2000; Sigot, 2005)

des mathématiques.

4.1.1 Cournot et les mathématiques

Cournot nous présente dans son œuvre une vue particulière et double des mathématiques : d'un côté, il travaille sur au moins deux typologies différentes de mathématiques. Il y a ses écrits sur la théorie des probabilités, et sur les statistiques, pour lesquelles il propose une analyse épistémologique très particulière, avec une tentative de concilier le déterminisme et le fortuit, en montrant comment on peut envisager une probabilité qui n'est pas une mesure du degré d'ignorance dans un monde strictement déterministe. Il y a aussi un travail minutieux et approfondi sur l'analyse, avec notamment une grande attention pour le débat autour des infiniment petits ainsi qu'un traité sur l'étude des fonctions.

De l'autre côté, Cournot traite deux sujets très différents : il applique les mathématiques aux phénomènes physiques, et à l'économie. Malgré le choix du calcul différentiel et intégral en économie, choix qu'on discutera dans la suite, Cournot n'accorde pas aux mathématiques un même statut lorsque celles-ci s'appliquent à l'économie plutôt qu'à la physique. Ainsi, s'il effectue un travail pionnier en économie, en y appliquant le calcul différentiel et intégral, il ne pense pas l'économie comme une sorte de mécanique sociale ; il est au contraire bien attentif à éviter des malentendus épistémologiques, et il sépare soigneusement le domaine du social et du physique, qui répondent selon lui à deux modes de fonctionnement entièrement différents. En particulier, nous pouvons considérer Cournot comme un défenseur de deux natures des mathématiques, 'langage de la nature' lorsqu'il s'agit de décrire des phénomènes physiques et donc outil de recherche 'objectif' au sens de Ridolfi (voir dans ce même chapitre 4.4.6, 'langage du scientifique' lorsqu'elles sont appliquées à l'économie, au sens que les mathématiques servent alors à décrire, et elles sont donc 'formelles' au sens de Ridolfi.

Le clivage qui sépare selon Cournot physique et économie s'enracine dans une séparation bien plus générale entre monde inanimé (nous entendons par inanimé tout ce qui n'est pas vivant), ou pour utiliser une expression cournotienne physico-chimique, et monde animé. Le monde inanimé, mécanique, est régi par des phénomènes à la fois déterministes et aléatoires : l'aléatoire est défini comme la rencontre de deux chaînes cau-

sales distinctes, et il est donc compatible avec un déterminisme de fond. Un tel positionnement peut paraître précaire, puisque deux chaînes causales sont deux ensembles de faits déterminés, et on ne voit pas à premier abord de quelle façon elles pourraient impliquer de l'aléatoire, mais nous allons y revenir par la suite et montrer que si ce n'est pas une position très partagée elle reste du moins cohérente sur le plan logique. Cournot souscrit à un réductionnisme ontologique pour ce qui en est du monde physico-chimique. S'il admet que certains phénomènes restent imprévisibles, il souligne que cette imprévisibilité est une limite entièrement épistémique, et fait ressortir la différence entre déterminisme et prévisibilité. Dans le domaine du physico-chimique, on ne peut pas tout prédire, mais ce n'est qu'une question de puissance de calcul et de précision, et il s'agit donc d'une limite de notre connaissance. Par exemple, il explique l'imprévisibilité des phénomènes météorologiques en termes de la puissance de calcul et d'analyse que nous possédons :

Mais, pourrait-on dire, la détermination n'est pas la prévision, et dès lors pourquoi tant insister sur les conditions de prévision ou de lecture de l'avenir [...] ? Est-ce que dans le Monde physique, les perturbations de l'atmosphère et de l'océan ne sont pas des phénomènes aussi déterminés que les éclipses de Soleil, quoique l'homme ne sache pas et ne doive savoir de longtemps les calculer et les prédire [...] ? Sans doute, mais aussi l'homme conçoit que la prédiction de tels phénomènes ne dépasse point la portée d'une intelligence qu'on pourrait qualifier d'*homogène* à l'intelligence humaine, en ce sens qu'elle serait pourvue des mêmes facultés, élevées seulement à un degré supérieur de puissance. (Cournot, 1979 [1875], p. 70-71)

Or, Cournot traite tout autrement les phénomènes de la vie. S'il affirme que « l'esprit de l'homme est fait de telle sorte qu'il lui convient de regarder tous les phénomènes naturels comme liés nécessairement les uns aux autres (ibid. p. 71) », il sépare nettement les phénomènes de la vie des ceux physico-chimiques. On ne peut pas selon Cournot établir des lois déterministes de la vie. C'est dans ce clivage que Cournot inscrit la différence fondamentale entre des lois de la nature et des lois du social, une différence qui ne sera néanmoins pas entièrement comprise par ses contemporains.

Le naturel est calculable, s'il ne l'est pas en acte du moins l'est-il en

puissance, alors que les phénomènes vitaux échappent à toute possibilité de calcul, et donc ne peuvent pas être assimilés à une science mécanique.

4.1.2 Liberté, déterminisme, probabilité : l'épistémologie cournotienne et le monde physique

L'épistémologie cournotienne se construit entièrement autour de deux concepts apparemment contradictoires : déterminisme et hasard.

[...] les notions de cause et de hasard, sont supérieures, dans l'ordre des abstractions, à la géométrie et à la mécanique, et s'appliquent aux phénomènes de la nature vivante comme à ceux que produisent les forces qui sollicitent la matière inorganique ; aux actes réfléchis des êtres libres, comme aux déterminations fatales de l'appétit et de l'instinct (Cournot, 1975 [1851], p. 42).

Déterminisme et hasard sont donc omniprésents et jouent un rôle plus fondamental encore que les lois physiques.

La compatibilité entre hasard et déterminisme est clairement revendiquée par Cournot

Le déterminisme absolu, tel qu'on l'admet avec fondement, d'après les données de la science, dans l'ordre des phénomènes physico-chimiques, n'exclut point la notion de l'indépendance des causes, ni par suite celle de l'*accident* et du *fortuit*, et d'une partie faite au *hasard* dans la discussion des phénomènes ou des événements (Cournot, 1979 [1875], p. 66-67)

Cela revient à dire qu'il est possible d'avoir à la fois du déterminisme et du hasard, et que l'un n'exclut pas l'autre.

La façon de réconcilier cette dichotomie paradoxale est originale et ingénieuse :

Cournot estime que les probabilités, véritable expression du hasard, ne sont pas le reflet de l'ignorance humaine, mais qu'elles sont objectives, et donc dans la nature. La définition de ses probabilités objectives est donnée comme la rencontre de deux chaînes causales (déterministes). Chacune des deux chaînes causales est strictement déterministe, mais le phénomène issu de leur rencontre est aléatoire : de cette façon, il y a compatibilité entre déterminisme et hasard.

On pourrait rétorquer à Cournot que si le monde est régi par un déterminisme strict, la rencontre des deux chaînes causales est aussi régie par du déterminisme. Sa description probabiliste peut tout au plus exprimer une probabilité subjective et traduire un manque de connaissance subjectif. Pour contrer cette critique, Cournot effectue un choix stratégique subtil : il affirme que la connaissance ne peut jamais être absolue. Contrairement à Laplace, qui postule l'existence d'un démon possédant une connaissance absolue de tout l'univers, Cournot estime qu'une telle connaissance n'est pas seulement impossible à avoir pour des limites de puissance de calcul, elle est impossible, car elle est insensée.

Cournot estime qu'il existe toujours un système que nous étudions et qui est déterministe, mais que ce système implique l'existence de quelque chose qui est extérieur au système, et dont la rencontre avec le système donne lieu à des événements probables. La clé conceptuelle pour comprendre sa position, c'est que Cournot ne voit pas cette extériorité comme une limite que nous fixons, mais comme quelque chose qui est dans la nature.

Cournot fournit l'exemple d'une comète qui entre dans le système solaire : le système solaire est un système avec ses propres lois déterministes, et la comète un deuxième système, tout aussi déterministe, mais externe au système solaire. La rencontre de la comète avec le système solaire est un événement aléatoire, dont la probabilité est une mesure objective du degré de hasard, plutôt qu'une mesure de l'ignorance de l'observateur. Cournot considère le système solaire comme un système qui trouve sa raison d'être dans la nature plutôt que dans l'esprit ; bien sûr on pourrait regarder la comète et le système solaire comme un seul système, mais alors il y aura toujours quelque chose d'extérieur, qui implique la possibilité du hasard.

Il ne saurait être donné à une intelligence telle que la nôtre, ni même à aucune intelligence finie, d'embrasser dans un seul système les phénomènes et les lois de la nature entière ; et alors même que nous en serions capables, nous distinguerions encore dans cet ensemble des parties qui se détachent et qui font l'objet de théories indépendantes les unes des autres, quoique pouvant se rattacher à une commune origine (Cournot, 1975 [1851], p. 360, §304).

Ce que Cournot suggère, c'est qu'une intelligence finie, peu importe laquelle (le démon de Laplace en serait un exemple possible, et probablement

Cournot veut remarquer la différence avec une intelligence divine), ne peut pas comprendre la nature en un seul tenant. Ce n'est pas une limite liée à la puissance de calcul dont l'on dispose. C'est le propre des êtres finis de distinguer « des parties qui se détachent et qui font l'objet de théories indépendantes les unes des autres », et donc le hasard est une composante irréductible de la connaissance que nous êtres finis nous pouvons avoir. Il n'est pas entièrement clair si le morcellement du connaissable dépend de comment la nature est faite ou de notre nature d'être finis, Cournot hésite entre les deux idées.

En ce qui concerne la question du libre arbitre, on se place par contre à un niveau d'analyse différent. En effet, ni les probabilités, ni le déterminisme, peuvent aider Cournot dans la question du libre arbitre : ce problème est réglé plutôt par une adhésion à des idées vitalistes

[...] les biologistes auront parfaitement raison de soutenir que le tissu vivant ou le globule entraîné dans le torrent de la circulation ont des propriétés, une manière d'agir dont leur structure et leurs conditions physico-chimiques ne suffisent pas à rendre raison, et qui s'évanouissent lorsque disparaît un principe de vie et de coordination harmonique, *nisus formativus*, absolument insaisissable à l'observation physique (Cournot, 1979 [1875], p. 62).

Cette vision s'exprime dans la forme d'une entéléchie, d'un but qui serait inscrit dans le vivant. Ainsi pour Cournot, déterminisme et hasard peuvent exister sans s'exclure mutuellement, et sont des catégories qui s'appliquent aux phénomènes physiques. En revanche, le libre arbitre concerne les êtres vivants, qui appartiennent à un domaine de la connaissance entièrement différent.

Nous verrons dans le débats autour du mémoire de Bousinesq, que le clivage entre vivants et non-vivants représente un obstacle important au mécanisme, un obstacle qui se manifeste en les sciences de l'homme, mais aussi en sciences de la nature.

4.1.3 L'application des mathématiques en physique

La position de Cournot par rapport à l'instrument mathématique nous semble fort intéressante, et mérite une attention particulière. L'image que

Cournot a des mathématiques est assez complexe, cependant elle peut se reconstituer à partir de ses écrits épistémologiques.

Cournot considère que les mathématiques sont un langage partiellement construit, et donc inventé par les mathématiciens, et partiellement issu des contraintes que le réel nous impose : l'idée de Cournot est que dans son activité de création, le scientifique-mathématicien se heurte au réel, qui l'oblige à faire des choix.

Les mathématiques sont issues de cette rencontre, avec le réel : elles sont bien évidemment une création, mais une création façonnée sur le réel : par conséquent, elles nous parlent de ce réel. En ce sens, les mathématiques ne sont pas inventées, mais elles sont découvertes dans la nature ; elles ont d'ailleurs la capacité de nous informer sur des spécificités du réel et elles nous permettent donc d'accéder à une connaissance sur le monde : la forme mathématique dépend du réel et en est partiellement le miroir.

Lorsque nous étudions les propriétés des nombres, nous croyons avec fondement, étudier certains rapports généraux entre les choses, certaines lois ou conditions générales des phénomènes : ce qui n'implique pas nécessairement que toutes les propriétés des nombres jouent un rôle dans l'explication des phénomènes, ni à plus forte raison que toutes les circonstances des phénomènes ont leur raison suprême dans les propriétés des nombres, [...] (Cournot, 1975 [1851], p. 192)

Cournot spécifie que des abstractions mathématiques en suggèrent parfois d'autres : celles qui s'avèrent stériles ne sont que des constructions de l'esprit, mais celles qui s'avèrent fécondes doivent bien leur fécondité au fait d'avoir su capturer une partie du réel. En ce cas nous avons saisi par une abstraction « l'heureuse expression d'un rapport découvert entre les choses (ibid. p. 193) ». C'est par ce parallèle entre nature et mathématiques que Cournot estime que les mathématiques « ont leurs types dans la nature » (ibid. p. 194) . Ainsi il est clair que tout en nécessitant de prudence, le mathématicien peut espérer saisir dans sa pratique des vérités sur la nature des lois physiques.

Cournot (1984 [1841]) fournit un exemple du rapport entre objet mathématique et nature dans son *Traité de calcul infinitésimal* ; il y explique que l'existence des infiniment petits en mathématiques va de pair avec l'existence des infiniment petits dans la nature : c'est le cas de la perte de chaleur

d'un corps qui se refroidit, tout aussi que celui d'un objet en chute libre. Le corps perd de sa chaleur par quantités infiniment petites, l'objet en chute libre traverse des espaces infiniment petits en des temps infiniment petits. Par ses deux exemples Cournot pense pouvoir dire que « les *infiniment petits* existent dans la nature Cournot (1984 [1841], p. I-49) »⁴.

Cournot croit donc à l'existence des infiniment petits, et il estime que les mathématiques nous dévoilent là un brin de nature. Il prend position en faveur d'une notion de 'méthode infinitésimale' contre la 'méthode des limites', en reconnaissant tout de même que la première correspond mieux aux faits, mais la deuxième est la seule qui permet d'avoir de la rigueur mathématique. On est ici confrontés aux idées sur le concept de limite par rapport à l'intuition originale de Leibniz, sur des quantités très petites, mais non nulles. Cette intuition qui se heurtait à des difficultés logiques majeures n'a été revendiquée en toute rigueur que beaucoup plus tard (Robinson, 1996 (1961); Bell, 1998). Cournot devait penser que le formalisme des limites était mathématiquement satisfaisant, mais que la véritable structure du continu était formée d'objets infiniment petits; Poincaré (1905) en arrive à estimer que selon Cournot l'infiniment petit préexiste au fini, et est plus fondamental que celui-ci. Et en effet, Cournot nous informe que la nature procède de l'infiniment petit au fini, et que c'est l'homme qui par le biais de sa connaissance est obligé d'opérer en sens inverse. Les infiniment petits font donc partie de la composante 'découverte' des mathématiques, dont l'étude du point de vue mathématique nous renseigne sur des vérités du monde; mais on est aussi en présence de la partie 'inventée' des mathématiques : la raison humaine ne peut procéder selon les règles de la nature et est obligée de faire recours au procédé inverse, allant du fini à l'infiniment petit. L'objet mathématique 'infiniment petit' existe donc dans le réel : mais la méthode qui permet de le manipuler en toute rigueur, le concept de limite, n'est qu'une création de notre esprit.

On voit bien que si pour Cournot il y a des objets mathématiques qui possèdent un équivalent réel, d'autres n'en ont pas un. Les mathématiques nous donnent donc un accès à la connaissance de ce qui existe, mais sont

4. La pagination du traité de Cournot est complexe ; les éditeurs des œuvres complètes ont décidé d'imprimer deux pages par feuille, et de numéroter les pages et les feuilles. La numérotation n'est de plus pas complètement conséquente, et on trouve par exemple des citations de Poincaré qui réfèrent à une autre pagination. Nous donnons les renvois à la feuille, ainsi I-49 signifie feuille 49, I signale qu'il s'agit du tome I.

aussi en partie une pure création de l'esprit.

4.1.4 L'application des mathématiques en économie

Cournot développe des outils mathématiques pour l'économie dans les *Recherches sur les principes mathématiques de la théorie des richesses*. Il utilise à ce propos le calcul infinitésimal, c'est-à-dire ses mêmes infiniment petits dont il revendique l'existence dans la nature. L'usage des mathématiques par Cournot est novateur, un passage important de l'histoire de la mathématisation.

L'œuvre obtint un succès plus que mitigé, et sa reconnaissance fut quasi entièrement posthume. Plusieurs explications ont été ébauchées qui expliquent (en partie) ce rejet (voir Sigot (2005) pour un aperçu global) ; celle qui nous paraît la plus convaincante veut que les mathématiques auraient été une forme 'effarouchante' aux yeux des économistes de l'époque (Lallement, 2000a).

Cournot a été peut-être aussi préoccupé, comme le signale Ragni (2003), d'un usage instrumental de l'économie, notamment par rapport à des tentatives de 'prouver' le laissez-faire des libéraux. Le distinguo que Cournot opère entre mathématiques en physique et en économie sert à prévenir un tel risque, c'est-à-dire que le lecteur peu avisé peut penser que l'usage des mathématiques implique la vérité d'une proposition plutôt qu'une autre.

Finalement, Cournot est aussi conscient d'un problème plus vaste, qui ouvre tout un champ de recherche épistémologique, et qui n'a été exploité que plus tard, et encore de façon incomplète : l'influence que le scientifique avec ses préjugés et ses convictions personnelles exerce sur son champ de recherche. Ainsi, il nous met en garde contre le fait que l'économie est bien plus sensible que les sciences de la nature par rapport à ce genre de risque, notamment par son caractère plus complexe, et par l'impossibilité d'y dégager des lois causales de même qu'en physique.

[...] la science des économistes, sans être une *littérature* (294), est, bien plus que les autres sciences, imprégnée de ce caractère national, marquée de ce cachet des temps et des lieux, qui distinguent une littérature d'une autre (ibid. p. 330).

Ainsi, les mathématiques en économie ne sont plus qu'un outil commode au service du scientifique ; conséquemment elles ne peuvent en aucun cas

donner un statut privilégié à une théorie économique quelconque sur une autre. Cette mise en garde dans le contexte de l'époque peut se comprendre comme un garde-fou contre le laissez-faire des libéraux (en suivant Ragni (2003), mais voir aussi notre section 3.5), mais elle peut faire penser tout aussi bien à des critiques plus récentes, qui ont bien montré à quel point les mathématiques peuvent être un instrument rhétorique, en reléguant les économies non mathématiques à un rôle secondaire dans un débat (McCloskey, 1996). On peut voir si l'on veut dans les conclusions de Cournot un avant-goût de ce genre de risques liés à la mathématisation. Les *Recherches* sont une œuvre de jeunesse : à l'époque de la publication, Cournot n'avait que 37 ans, et il s'agissait de son premier traité, bien qu'il eut été déjà à l'époque l'auteur de plusieurs articles.

L'abandon des mathématiques en économie par Cournot, dans *Principes de la théorie des richesses*, a donc de quoi surprendre. Cournot renonce aux mathématiques et relance les mêmes idées qu'il avait avancées dans ses *Recherches*, « en le[s] dépouillant absolument de l'attirail d'algèbre qui effarouche tant en ces matières (Cournot, 1981 [1863], p. 3) ».

On pourrait lire dans l'abandon de l'instrument mathématique un changement d'opinion sur la pertinence du choix : Cournot penserait que les mathématiques ne sont pas, finalement, adéquates pour décrire les phénomènes économiques. Nous savons grâce à la correspondance avec Walras qu'une telle lecture appelle à précaution ; Cournot continue à croire en sa méthode, ce qu'il dit d'ailleurs dans l'introduction des *Principes*. Selon Cournot « il devait y avoir de l'avantage à appliquer les signes mathématiques à l'expression de rapports et d'idées qui sont certainement du ressort des mathématiques (ibid. p.3) »

Cournot est bien conscient de la différence de complexité entre physique et économie, et il la souligne dans les *Principes* ; néanmoins, il estime possible d'établir des étalons de mesure et donc d'appliquer des arguments quantitatifs tout aussi bien en économie qu'en physique.

Jamais la science économique n'aura le degré de précision et de perfection de l'astronomie : qui en doute ? [...] C'est la suite nécessaire d'un contraste si marqué entre la simplicité des phénomènes astronomiques et la complication des faits sociaux. Mais, en principe et sauf à discuter les procédés d'exécution, de mesure ou d'estime, il n'est pas plus déraisonnable de chercher

une mesure fixe des valeurs, quoiqu'il n'y ait point d'objets dont la valeur reste invariable, que de chercher une mesure fixe du temps et un régulateur de toutes les horloges, [...] (ibid., p. 102)

Cournot accepte donc d'utiliser les mathématiques en économie, tout en étant conscient qu'un tel instrument ne peut pas retranscrire de façon exacte la complexité du social, et que certaines hypothèses de travail représentent une médiation entre le besoin de simplicité du modèle qu'on construit et le réel qu'on souhaite modéliser. Cela est tout aussi vrai de l'économie et de la physique : cependant il existe une différence entre ces deux domaines qui implique un statut épistémologique différent du langage mathématique.

Dans les conclusions des *Principes* Cournot nous informe en particulier du fait que :

Dans les plus parfaites des sciences naturelles, telles que l'astronomie, il y a une subordination marquée entre les causes principales et simples, qui impriment aux phénomènes leurs caractères généraux de régularité et de simplicité, et les causes secondaires, accessoires, beaucoup plus complexes, qui troublent ou dérangent les effets de causes principales, [...]. Il en est plus de même pour ce qui fait l'objet des études de l'économiste. Les abstractions auxquelles il faut toujours recourir pour simplifier les questions et les rendre accessibles au raisonnement, ne sont pas de celles qui s'imposent à tout le monde et que la nature des choses a dictées : ce sont au contraire le plus souvent des abstractions artificielles et dans lesquelles il entre beaucoup d'arbitraire. [...] (ibid. p. 328-329)

Ce paragraphe indique une conception particulière des mathématiques lorsqu'elles sont appliquées à l'économie. En effet, le dernier chapitre des *Principes* comprend un long plaidoyer sur la différence entre sciences naturelles et sociales, et tout particulièrement sur l'économie. Cournot nous met en garde sur la difficulté inhérente à l'économie dans la définition du progrès économique. En particulier il évoque la difficulté d'une science qui travaille avec « des choses hétérogènes, qui n'ont point de commune mesure, qui peuvent n'être pas mesurables (p. 327) »

Ce contre quoi Cournot veut nous mettre en garde, et qui le retient dans l'application des mathématiques à l'économie, c'est que ces mathématiques ne sont pas, dans ce cas, langage de la nature, capable de retranscrire ce que

« la nature des choses a dicté », faute d'un encrage fort dans cette nature, un encrage qui nécessite de mesurer, quantifier, et cerner de façon rigoureuse les faits empiriques. Par ailleurs, Cournot soulève aussi de doutes sur la possibilité d'effectuer des observations empiriques en économie au même sens qu'en physique, à la fois pour la difficulté d'effectuer des mesures « sans parti pris (p. 327) » que de définir clairement ce que ces mesures signifient.

Finalement, les mathématiques en économie ne nous dévoilent pas, comme en physique, une réalité sur comment est fait le monde phénoménal, en dégageant des formes de celui-ci, « l'heureuse expression d'un rapport découvert entre les choses ». Les causes principales, qu'on peut dégager en les sciences naturelles grâce aux mathématiques, sont bien trop perturbées par des causes secondaires lorsqu'on en vient à l'économie. On est alors forcés de recourir à des simplifications importantes, qui ne traduisent plus comment est fait le monde social, mais qui répondent plutôt à des nécessités pragmatiques du modélisateur. Cela veut dire que les mathématiques appliquées à l'économie, pourtant les mêmes mathématiques des infiniment petits, dont Cournot croit pouvoir montrer l'existence dans la nature, ne reflètent pas des réalités du monde, mais sont uniquement des 'abstractions artificielles'. Cela ne veut pas dire que les mathématiques sont inutiles en économie. Seulement, l'économie n'est pas une science naturelle. Les perturbations qui caractérisent les sciences naturelles peuvent être dépassées par l'usage des mathématiques, en dégageant, grâce aux équations, les 'types dans la nature'. Les mathématiques permettent de dévoiler de grands principes, des lois, au caractère causal, qui expliquent une partie du réel. Ainsi les mathématiques sont vraiment langage de la nature dans le cas des sciences naturelles. Ce n'est pas le cas de l'économie : dans celle-ci, les perturbations et les imperfections sont bien plus importantes et priment sur les lois sous-jacentes. Ainsi il n'est point possible de dégager par l'usage des mathématiques le caractère nomologique et écarter l'aspect accidentel. L'économie - science sociale - peut bien utiliser des mathématiques, mais celles-ci ne sont plus langage de la nature, car elles ne saisissent pas des régularités naturelles, des lois qui seraient dans la nature plutôt que dans l'œil de l'observateur.

La crainte de Cournot est alors que le lecteur peu avisé, habitué à voir dans les mathématiques un instrument capable d'ouvrir une porte sur le réel comme c'est souvent le cas en physique, puisse penser que l'usage des

mathématiques donne le même statut aux théories économiques qui ont été mathématisées. « On ne peut guère expliquer que par des considérations de ce genre la répugnance que le public a toujours montré pour l'emploi des signes mathématiques dans la discussion des questions économiques. (ibid.) »

Plus précisément en ce qui concerne l'appareil mathématique, Cournot nous met en garde contre la mauvaise compréhension qu'on pourrait en avoir.

L'appareil mathématique, très propre à conduire promptement aux conséquences de certaines hypothèses abstraites, a l'inconvénient de donner à penser qu'on attribue à ces hypothèses une valeur qu'elles ont effectivement dans l'interprétation des phénomènes naturels, et qu'elles ne sauraient avoir au même degré dans l'interprétation des phénomènes sociaux. (ibid. p. 329-330)

La nature profondément différente des sciences naturelles et de l'économie, l'impossibilité en cette dernière d'établir des mesures fiables, l'impossibilité d'une objectivité et d'une distance prise par rapport à l'objet étudié, sont donc parmi les raisons que Cournot évoque et qu'il suppose justifient la méfiance de son public, car « [o]n ne peut guère expliquer que par des considérations de ce genre la répugnance que le public a toujours montrée pour l'emploi des signes mathématiques dans la discussion des questions économiques (ibid. p. 329) ».

Si Cournot a craint une mécompréhension de son public de lecteurs il a eu peut-être raison. Charpentier (1881) discute les travaux de Cournot dans une élégie en sa mémoire ; il y explique que la notion de loi chez Cournot se distingue de celle de Mill ou Comte par ceci : pour Cournot « une loi de la nature n'est pas la liaison nécessaire entre un phénomène conséquent et un phénomène antécédent qu'on appelle la condition du premier ; une loi c'est un rapport mathématique entre deux grandeurs variables, rapport exprimé par ce que les mathématiciens appellent une fonction (ibid., p. 502) ». Si cette idée de la notion de loi chez Cournot, que Charpentier ne soutient à l'aide d'aucune référence explicite, nous semble douteuse (et on peut retracer dans l'œuvre de Cournot des pages dédiées au concept de loi qui vont bien au-delà d'une telle définition), elle se prête à malentendu : ainsi en fin d'article Charpentier conclut que chez Cournot « une loi économique est tout à fait analogue à une loi physique. Elle doit être recherchée

par les mêmes procédés analytiques et exprimée par les mêmes symboles mathématiques. (ibid., p. 517) ». Or, ceci nous montre bien à quel point la forme mathématique peut induire en erreur : elle mène à croire qu'une forme analogue implique un statut épistémologique analogue ; et ceci est précisément ce que Cournot aurait voulu éviter.

4.2 Cournot, philosophe de la prudence.

Cournot philosophe s'intéresse, on l'a vu, de près à la question du déterminisme. Il n'oppose pas déterminisme et libre arbitre, mais plutôt déterminisme et probabilité. Dans l'épistémologie cournotienne, ce sont les probabilités et le déterminisme qui ont un rôle primaire ; la liberté humaine existe pour Cournot à un niveau bien différent et n'est en contradiction ni avec le déterminisme, ni avec les probabilités. La raison de cette posture est à notre avis à rechercher dans la différence fondamentale entre le vivant et le non vivant. Le déterminisme physique n'est en rien un problème pour la liberté humaine. En revanche, au niveau physico-chimique Cournot insère une notion originale de probabilité qui nous intéresse dans notre discussion.

Cournot publie ses *Recherches* en 1838 ; l'ouvrage fait un usage important de mathématiques, avec un niveau technique assez conséquent. Si on le compare avec les travaux de Jevons et même de Walras, on s'aperçoit rapidement de l'aisance de Cournot dans la manipulation d'objets mathématiques, ainsi que de l'abondance avec laquelle il y fait recours, qui dépasse certainement Jevons, et qui est équivalente, voire supérieure à celle de Walras. Cournot est des trois auteurs le mathématicien le plus adroit, et de très loin ; il n'hésite pas à faire usage des mathématiques dans ses descriptions et il est du point de vue technique parfaitement à l'aise. De plus Cournot aura une influence indirecte sur le débat autour du mémoire de Boussinesq, et il nous intéresse donc aussi pour la suite. Il abandonne ensuite les mathématiques, et décide de récrire son traité dans une forme plus littéraire. Comme nous l'avons déjà souligné, nous pensons que Cournot craignait entre autres que l'usage des mathématiques en économie amène le lecteur à croire que la forme mathématique peut impliquer un statut des lois économiques semblable à celui des lois physiques. Dans les *Principes*, Cournot nous met à l'abri de cette crainte ; cette prise de position n'apparaît pourtant pas clairement dans les *Recherches*.

Cournot est prudent, même dans son premier ouvrage, sur l'application des mathématiques à l'économie. Il reconnaît que certaines applications des mathématiques à l'économie n'ont aucune signification autre que de la pure spéculation analytique : par exemple, dans la discussion du concours de producteurs (la situation dans laquelle un certain produit, tel que le laiton, se produit grâce à deux autres matières premières, et que ces matières premières sont en main d'un seul monopoleur, ou bien de deux ou plusieurs monopoleurs) il étudie un cas particulier de solution mathématique qui n'a point de correspondant dans le monde réel.

Soit $p_1F(p_1)$ le gain du premier monopoleur, $p_2F(p_2)$ le gain du deuxième monopoleur, dans l'hypothèse où $F(p)$ est la demande du bien, et p son prix. Le prix d'équilibre se trouve à l'intersection des deux courbes $\frac{d(p_1F(p_1))}{dp_1} = 0$ et $\frac{d(p_2F(p_2))}{dp_2} = 0$. Or, il arrive que ces deux courbes ne se croisent jamais (c'est l'exemple de Cournot) lorsqu'elles ont une asymptote commune. Le cas, nous dit Cournot, existe mathématiquement, mais il ne représente rien de réel et donc « Il suffit de remarquer ces singularités d'analyse qui ne peuvent avoir aucune application aux phénomènes réels (Cournot, 1980 [1838], p.88) ».

Il s'agit selon Cournot d'un de ces cas où une abstraction mathématique en suggère une autre, qui n'est pas féconde et ne représente rien de réel (Cournot, 1975 [1851], p. 192).

Nous avons parfois l'impression que Cournot utilise les mathématiques, dans ses *Recherches*, d'une façon très semblable à son usage des mathématiques en physique ; cette impression est renforcée par des considérations qu'on retrouve par moments :

Ces résultats, que l'on peut facilement généraliser, quels que soient le nombre et l'espèce des denrées composantes, pourvu qu'elles se produisent sous l'influence d'une concurrence indéfinie, méritent d'être pris en considération, et ont *toute la certitude des théorèmes mathématiques*, sans qu'on doive, pour cela, *les exclure du nombre des vérités pratiques*. (Cournot, 1980 [1838], p. 88, nous soulignons)

Insister sur la certitude mathématique et à la fois sur la vérité pratique ne peut que renvoyer à une idée de mathématiques que Cournot associe aux mathématiques en physique. Cette attitude mitigée, oscillant par moments entre une vision des mathématiques comme langage de la nature, par

moment comme langage du scientifique, nous semble caractériser les *Recherches*. Cournot est déjà partiellement convaincu d'un statut différent des mathématiques en économie et en physique, mais cette idée n'a pas encore trouvé une stabilité et une complétude semblable à celle des *Principes*.

Finalement, dans les *Principes*, on s'aperçoit que Cournot effectue une retraite prudente sur la portée effective des mathématiques en économie. Si dans les *Recherches* il envisageait d'exprimer - par l'étude des fonctions - des relations entre grandeurs, sans spécifier si la nature de ses relations était similaire à celle qu'on rencontre en physique (c'est-à-dire causale), dans les *Principes* il prend garde de rappeler que les mathématiques permettent d'énoncer des modèles sous certaines hypothèses, mais que ces modèles ne permettent pas une science économique unifiée, qu'ils ne doivent pas prétendre à l'application, sous peine de perdre leur nature 'positive'. En somme, l'économie mathématisée ne peut pas aspirer au même degré d'exactitude que la physique mathématique.

Cette 'prudente retraite' peut s'expliquer par l'accueil très mitigé des *Recherches*, mais coïncide aussi, nous pensons, avec une prise de conscience dans les 25 ans qui séparent les deux ouvrages, de tout ce que pouvait avoir de dangereux une vision des mathématiques comme langage de la nature appliquée à l'économie.

Finalement, le cas spécifique qui nous intéresse, le libre arbitre, est discuté par Cournot dans d'autres ouvrages, et on ne retrouve pas de liaisons directes avec l'économie. Cependant, on peut oser par une reconstruction de ses idées, une spéculation sur la posture de Cournot. En particulier, il défend l'existence de la liberté humaine, en distinguant deux significations de détermination : il y a la notion de cause, qui relève des phénomènes physiques, et il y a des *raisons déterminantes*, c'est à dire des contraintes qui rendent un certain acte le seul qu'on aurait raison d'accomplir. Même si les mots utilisés sont semblables, l'une se réfère au monde physique, et donc au cadre épistémologique du déterminisme et du hasard, alors que l'autre fait référence au vivant, et donc au cadre vitaliste. Cournot nous fournit un exemple de raison déterminante issue de l'économie, lorsqu'incapables de faire nous même certains calculs, on suit l'opinion d'un agent de change. La distinction est cruciale : la détermination au sens de 'cause' est externe et indépendante de la volonté, alors que les raisons déterminantes peuvent

se regarder comme un élément de la liberté dont nous jouissons

À la vérité, lorsque nous nous déterminons, soit pour un motif d'intérêt bien entendu, soit d'après ce que nous prescrit une loi à laquelle il serait criminel ou insensé de désobéir, nous cédon à une *raison déterminante* plutôt qu'à une *cause* au propre sens du mot. [...] En l'absence d'une cause proprement dite qui pousse notre volonté, on peut voir dans notre volonté même la cause originelle, la vraie cause de l'acte accompli par nous volontairement. Mais qu'importe, si notre volonté est aussi nécessairement déterminée par le motif rationnel, qu'un effet peut l'être par une cause proprement dite ? Selon Descartes "l'homme n'est jamais plus libre que quand il voit clairement ce qui est vrai, ce qui est bon, sans être en peine de délibérer quel jugement et quel choix il doit faire" ; c'est-à-dire qu'*il n'est jamais plus libre que quand sa volonté est le plus rigoureusement déterminée* (Cournot, 1979 [1875], p. 139, nous soulignons)

Ainsi nous pensons que le genre de déterminisme qu'on retrouve en économie n'a pas pour Cournot la même nature que celui qu'on trouve en physique. Dans un cas, on est face à une cause dont nous ne saurons être maîtres. Dans l'autre, il s'agit d'une raison déterminante qui est nécessaire si nous voulons être libres.

Or l'usage de mathématiques pourrait suggérer une proximité épistémologique que Cournot estime totalement fausse. Le danger est que, confrontés aux mêmes outillages mathématiques, les lecteurs croient que les mathématiques en économie jouent le même rôle qu'en physique, c'est-à-dire qu'elles expriment des causes externes à la volonté des individus. Dans ce cas, on ne serait plus en face d'une raison déterminante, mais d'un véritable mécanisme causal, qui empêcherait toute liberté d'action.

C'est en ce sens que la double nature du langage mathématique cache, chez Cournot, des enjeux majeurs sur la question du libre arbitre.

4.3 La division des sciences de Walras

Nous allons maintenant nous occuper du traitement de la question du libre arbitre de la part de Léon Walras. Afin de mieux situer cette question, nous allons reconstruire avant tout son positionnement épistémologique.

L'épistémologie walrasienne présente une tripartition de la connaissance, qui évolue ensuite vers une quadripartition suivant deux sillons principaux⁵.

Premièrement, il articule les domaines scientifiques autour d'une dichotomie entre deux types de phénomènes, les faits naturels et les faits humanitaires. Les faits naturels « ont leur origine dans le jeu des forces de la nature qui sont des forces aveugles et fatales (Walras, 1900, OEC8 p. 39, p. 16)⁶ », les faits humanitaires « prennent leur source dans l'exercice de la volonté de l'homme qui est une force clairvoyante et libre (Walras, 1900, OEC8 p. 39, p. 17) ». Il convient de remarquer ce premier point, car Walras introduit dans la définition même de fait humanitaire la notion de liberté. La liberté est constitutive de la nature humaine : clairvoyance et liberté sont constitutives de l'homme. La liberté est donc au centre des préoccupations de Walras, qui s'interroge sur son étendue et sa pertinence. En effet, tout de suite après avoir statué sur la nature clairvoyante et libre de l'homme, il concède que « [p]eut-être cette force [la volonté] ne se connaît-elle et ne se possède-t-elle pas autant qu'elle le croit (Walras, 1900, OEC8 p. 39, p. 17) ». Il n'est donc pas question de remettre en doute sa conviction en l'existence de la liberté. La liberté humaine est un présupposé pour Walras de la personnalité morale de l'homme, qui avec l'aptitude à la division du travail constitue ce que différencie l'homme de l'animal (voir aussi Bee (2013)).

Les personnes, par le fait même de se connaître et de se posséder, sont responsables de leurs actes : l'homme comme l'animal a une fin et il l'a poursuit, mais contrairement à l'animal « il le fait sachant qu'il a une fin et que c'est à lui de la poursuivre (OEC 9, p. 102) » il est donc responsable de l'accomplissement de sa destinée, il accomplit une destinée clairvoyante et libre. La dichotomie choses-personnes est expressément revendiquée par Walras, qui considère qu'elle embrasse tout ce qui existe de matériel : « tout être qui se connaît et qui se possède est une personne (ibid. p. 40-41, p. 18) » ; le reste : animaux, plantes, minéraux sont des choses⁷.

5. Il existe des études spécifiquement dédiées à la question épistémologique (Lallement, 2000b; Dockes, 1996; Jolink, 1996). Nous signalons tout particulièrement Tatti (2000a), assez proche du présent travail. Pour une analyse systématique du cheminement intellectuel de Walras et des facettes et de l'évolution de sa partition des sciences voir Potier (1994).

6. Les œuvres de Walras publiées du vivant de l'auteur seront systématiquement citées dans cette forme : OEC *k* pour indiquer le volume *k* des œuvres complètes, suivi de la pagination dans les œuvres complètes, puis la page dans la publication originale et la référence bibliographique qui s'applique.

7. Il reste à considérer le statut que Walras accorde à Dieu dans son cadre théorique,

Le partage entre faits naturels et humanitaires permet de créer quatre catégories, selon que l'action de chacune des catégories s'exerce sur soi-même ou sur l'autre. Seulement trois des catégories sont énoncées par Walras :

1. les effets des choses sur les choses sont étudiés par la science pure naturelle, elles ont pour critérium le vrai et obéissent à un déterminisme strict
2. les effets des personnes sur les choses sont étudiés par la science appliquée, on appelle l'ensemble de ces faits 'industrie', et leur critérium est l'utile
3. les effets des personnes sur d'autres personnes sont étudiés par la science morale, on appelle l'ensemble de ces faits les moeurs, et leur critérium est le bien ou la justice

Il semble pourtant manquer une catégorie, celle des effets des choses sur les personnes. Walras souligne que l'homme peut « subordonner la fin des choses à sa propre fin (Walras, 1900, OEC 8 p.41, p. 18) », ce qui n'est certainement pas une relation symétrique et justifierait donc l'absence d'une quatrième catégorie.

On aboutit alors à une division de la connaissance, permettant d'identifier une science pure naturelle (qui étudie les choses agissant sur les choses), une science naturelle appliquée et une science morale. Or, cette tripartition, vers la fin des années soixante-dix, évoluera vers une quadripartition, en séparant les sciences morales en i) morale pure et ii) morale appliquée. La science morale pure est à plusieurs égards l'analogue de l'économie pure. Tout comme l'économie pure, elle obéit à des forces 'aveugles et fatales' (Walras, 1996, p. 223). Il n'y a pas de mathématiques en morale pure, ce qui distingue sur le plan méthodologique les deux sciences, bien que Walras reconnaisse à la science de la justice une forme géométrique (OEC 9, p.177).

4.4 La liberté humaine face aux mathématiques

Pour Walras autant que pour ses détracteurs, mathématiser signifie ramener les phénomènes à des lois naturelles⁸. Si l'univers est écrit dans le

mais en vue de la nature de cette thèse, nous allons écarter cette question.

8. Bien que Walras n'a pas une idée de loi naturelle au sens des empiristes ; loi naturelle ne signifie pas pour Walras la même chose que pour ses détracteurs. Nous allons revenir sur la notion de loi dans la suite de ce chapitre. Voir aussi (Baranzini, 2006).

langage mathématique, comme le dit Galilée, alors les mathématiques expriment des lois de la nature, et les véritables lois naturelles ne peuvent s'écrire que mathématiquement. La forme est nécessaire au sens qu'elle devient gage de scientificité.

Notre problématique étant la compatibilité entre des lois scientifiques déterministes et la liberté humaine, nous retrouvons déjà dans l'épistémologie walrasienne le cœur du problème : les individus par définition libres se heurtent à des lois par définition déterministes. D'un côté, ce contraste se lit sur le plan d'une transformation de l'économie de science morale à science naturelle. Le fait même de mathématiser, c'est-à-dire d'utiliser le langage des sciences naturelles, met bien en avant que l'économie pure est une science naturelle. De l'autre, les mathématiques peuvent être perçues comme expression d'une causalité déterministe sous-jacente. En ce sens, accepter que la 'nouvelle économie' soit effectivement mathématisable par des équations déterministes signifie accepter qu'il s'agit d'une science naturelle, ce qui contraste apparemment avec l'idée d'une science morale, dans laquelle l'agir libre des hommes revêt un rôle central.

La séparation que Walras opère entre sciences pures naturelles et sciences morales résout en partie le problème. En effet, les mathématiques expriment des lois déterministes, mais ces lois concernent uniquement les effets des choses sur d'autres choses. Dans la mesure où, par exemple, les prix des marchandises sont la conséquence d'un processus de marché aveugle et fatal, ayant un statut de 'fait naturel' selon Walras, et donc n'étant pas lié à l'action de l'homme, il n'y a pas de surprise à qu'il soit déterminé. Des nombreux autres phénomènes physiques ou astronomiques le sont, et cela ne suffit pas en soi à remettre en cause la liberté humaine. Il n'y a donc rien de particulièrement risqué à penser de tels effets comme déterministes. D'autres effets, des personnes sur les choses ou des personnes sur d'autres personnes, donnent lieu à d'autres branches de la connaissance selon Walras, qui permettent l'existence et l'action de volontés libres, et qui ne sont pas mathématisées.

Or, cette solution devait être difficile à percevoir pour les opposants de Walras, qui ont pu penser à une réduction de toute l'économie à une science naturelle et mathématique, alors même que celle-ci était souvent pensée comme une science morale. Dans son article, Lallement (2004) souligne que la réaction antiwalrassienne aurait été plus une réaction contre la

naturalisation de l'économie que contre l'usage des mathématiques ; pourtant, en départageant l'économie en deux secteurs distincts, l'économie politique pure et l'économie sociale, Walras aurait résolu le problème posé par la liberté humaine. L'économie pure est déterministe, puisqu'elle traite des effets de choses sur les choses. L'économie sociale traite des effets des personnes (libres) sur d'autres personnes. Elle n'est pourtant pas mathématisée, et donc le contraste entre lois déterministes et liberté n'a pas lieu d'être.

Ce n'est peut-être pas si simple : une analyse attentive des *Éléments* révèle des failles possibles dans le déterminisme des lois de l'économie pure qui, tout en ayant un caractère assez marginal, méritent un approfondissement. De plus, la nature de l'instrument mathématique dans la pensée de Walras possède un statut tout à fait singulier.

Walras comprend les mathématiques d'une façon particulière ; il est 'plus platoniste des platoniciens'. Pour lui, les mathématiques ne sont pas seulement un outil descriptif : elles sont également un gage de véridicité. Le fait même d'exprimer mathématiquement une loi économique suffit à assurer que cette loi est vraie. Walras ne nie pas l'importance des faits d'observation en endossant un idéalisme complet : les faits servent afin de définir des types, c'est-à-dire des formes stylisées des éléments constitutifs des lois économiques⁹. Ces types réels sont ensuite transformés en types idéaux par un processus d'abstraction.

[...] les sciences physico-mathématiques, comme les sciences mathématiques proprement dites, sortent de l'expérience dès qu'elles lui ont emprunté leurs types. Elles abstraient de ces types réels des types idéaux qu'elles définissent ; et, sur la base de ces définitions, elles bâtissent a priori tout l'échafaudage de leurs théorèmes et de leurs démonstrations. Elles rentrent, après cela, dans l'expérience non pour confirmer, mais pour appliquer leurs conclusions. (Walras, 1900, OEC 8 p. 53, p. 29)

Les mathématiques jouent un rôle dans ce processus d'abstraction : les types réels sont issus du monde réel, et ne sont donc pas en forme mathématique ; mais certains de leurs équivalents idéaux, la 'demande type-

9. Walras fournit une liste d'exemples non exhaustive de types réels dans (Walras, 1875, OEC7, p. 301) : le marché, la demande, l'offre, la hausse, la baisse, le prix courant, les produits, les services producteurs : travail, rente, profit, l'entrepreneur, etc.

idéale', le 'marché type idéal' sont en fait des variables ou des fonctions, ou des ensembles de fonctions, donc des objets mathématiques. Les rapports entre ces objets sont des lois économiques. La mathématisation est donc une forme possible de l'idéalisation, au sens d'extraction du type idéal. Mais contrairement à ce qui se passe en physique, le but de la mathématisation n'est point de retourner au réel pour confirmer les lois qu'on vient d'établir. Pour Walras les lois mathématiques sont vraies, et leur vérité est due au fait même d'être exprimés en langage mathématique.

Quand j'élaborais mon système [...] j'ai eu l'illusion que la méthode mathématique donnerait sa mesure en produisant du premier coup l'économie politique pure définitive. Les élucubrations de Marshall et Edgeworth, de Launhardt, d'Auspitz et Lieben, de Loria, m'ont complètement défrisé en me faisant voir qu'on pouvait élaborer des systèmes faux en assez grand nombre dans la forme mathématique. (Walras, 1965, Lettre à Pareto du 23 février 1892, p. 483)

Walras pensait donc, en sa jeunesse, que les mathématiques en soi sont langage véridique et nécessaire

[...] la forme mathématique, si elle est pour l'économie politique une forme possible, est par cela même, pour elle, une forme nécessaire, et le plus sur moyen de discerner la vérité de l'erreur (Walras, 1875, OEC7, p. 317)

Walras pense aussi que les mathématiques permettent une connaissance qui dépasse le cadre empirique d'où l'on extrait les types réels

Une circonstance qui fait des mathématiques un exercice de logique admirable, consiste en ce que les formules sont toujours beaucoup plus larges que les cas qui les ont fait trouver. Elles vous guident dans d'autres cas que l'on ne soupçonnait pas. Elles pensent ainsi pour vous. (Walras, 2000, p. 555)

Cet usage de mathématiques comme 'guide' dépasse celui d'un moyen d'exposition rigoureux, et, il nous semble, est beaucoup plus proche des mathématiques telles que les physiciens les comprennent. Elles ne sont pas uniquement une façon de s'exprimer, mais aussi un mode de pensée qui transcende pour ainsi dire la connaissance empirique en faveur d'une connaissance idéale des formes, les types idéaux justement.

On retiendra donc les deux points suivants :

1. La mathématisation chez Walras implique des lois 'aveugles et fatales' et donc le déterminisme, cependant
2. La mathématisation ne s'applique qu'à l'économie pure, et il reste donc une place au contingent et à la liberté

Nous allons maintenant procéder à une analyse plus détaillée de ces deux affirmations.

4.4.1 Une faille dans le déterminisme de l'économie pure ?

Walras ne semble pas douter de la fatalité et de la nécessité des lois de l'économie pure. Or, cela ne va pas entièrement de soi. Prenons un exemple, le 'marché type idéal' tel que Walras le présente.

Il s'agit, si l'on suit l'épistémologie walrasienne, d'économie pure, et donc de l'effet de choses sur des choses. Or, on pourrait se dire que l'offre et la demande sur un marché sont une conséquence des actions d'individus, qui étant libres peuvent choisir d'opérer d'une façon plutôt qu'une autre. C'est pourtant faux, ce que Walras revendique ouvertement. Un individu sur un marché walrasien n'a pas le choix de vendre ou acheter à d'autres prix que celui d'équilibre.

Le blé vaut 24 F l'hectolitre [...] Le vendeur voudrait bien vendre plus cher ; il ne le peut, parce que le blé *ne vaut pas plus*[...] L'acheteur ne demanderait pas mieux que d'acheter à meilleur marché ; cela lui est impossible, parce que le blé *ne vaut pas moins* (Walras, 1900, OEC 8 p.50, p. 26).

Ce qui est en jeu dans l'économie pure n'est pas la volonté de l'acheteur ou du vendeur, mais bel et bien le rapport entre une marchandise et sa valeur. La marchandise vaut une certaine quantité d'une autre marchandise, et cette valeur est fixée par l'offre et la demande. La volonté individuelle ne peut pas changer cette donnée sur laquelle elle n'a pas d'influence (Dockes et Potier, 2005).

Concernant la liberté qui serait 'mise' en équation, Walras répond en faisant remarquer qu'il n'essaie pas de calculer les décisions que des agents libres vont prendre, mais plutôt les effets de leurs décisions :

On nous disait d'abord : « Un des éléments de la détermination du prix en libre concurrence est la liberté humaine dont on ne peut calculer les décisions ». Or, jamais nous n'avons essayé de calculer les décisions de la liberté humaine ; nous avons seulement essayé d'en exprimer mathématiquement les effets (Walras, 1900, OEC 8 p. 334, p. 232).

Il est bien vrai que ces effets sont, dans la mesure de l'économie pure, nécessaires et donc déterminés. Mais cette nécessité est aux yeux de Walras une conséquence des lois naturelles de l'économie, et dans la mesure où l'on se réfère à l'économie pure, il est envisageable de pouvoir énoncer des lois nécessaires. Walras se heurte pourtant à une difficulté qui nous semble très parlante, celle de l'unicité de l'équilibre.

Il s'intéresse au cas simple de deux marchandises A et B échangées sur le marché (équilibre général). Il expose trois possibilités : aucun équilibre, un seul équilibre et trois équilibres entre l'offre et la demande¹⁰.

Le cadre de raisonnement est celui de l'échange de deux marchandises par un grand nombre d'agents sur un marché. L'hypothèse d'un grand nombre d'agents sert à justifier entre autres la continuité des fonctions de demande et d'offre : Walras affirme que la fonction de demande d'un agent peut très bien être discontinue, mais que la fonction agrégée de plusieurs agents, en vertu de la loi de grands nombres, doit être continue. Supposons de pouvoir établir une fonction de demande $D_A = F_A(p_A)$, c'est-à-dire une fonction de demande de la marchandise A qui soit une fonction du prix p_A , sachant que p_A est le prix de la marchandise A exprimé en B (p.e. $p_A=3$, signifie qu'il faut trois unités de B pour une unité de A). Il va de soi que $p_A p_B = 1$. L'offre de B sera déterminée par $O_B = D_A p_A$, car si on demande une certaine quantité de A , à un certain prix, cela implique automatiquement qu'on est prêt à offrir une quantité équivalente de la deuxième marchandise.

Or ce que nous intéresse c'est l'équilibre entre l'offre et la demande d'une même marchandise, soit $O_B = D_B$, ce qui peut aussi s'écrire $D_A p_A = D_B$, ou bien dans la forme de fonctions de prix $F_A(p_A) p_A = F_B(p_B)$. En utilisant la relation $p_A p_B = 1$, nous pouvons en déduire l'équation

$$F_A\left(\frac{1}{p_B}\right) \frac{1}{p_B} = F_B(p_B)$$

10. Il ne discute pas la possibilité limite de deux équilibres.

Walras fournit une représentation de courbes d'offre et de demande et discute leurs intersections : la seule hypothèse sur la forme de courbe de demande (outre la continuité), c'est qu'elle croise à la fois l'axe des abscisses et l'axe des ordonnées. Walras justifie cette hypothèse en affirmant qu'il existe un prix au-delà duquel personne n'est prêt à acheter (mais il exprime des doutes à cet égard) et que même à un prix nul la demande d'une marchandise est limitée par des raisons logistiques. Walras ne mentionne pas explicitement l'hypothèse de la fonction de demande décroissante, mais cette condition est implicite et nécessaire. Finalement, la fonction telle que Walras la dessine est concave, mais l'hypothèse n'est pas cruciale.

Or, par des arguments qualitatifs, on peut retrouver une courbe d'offre en cloche. Supposons une fonction de demande $F_B(p_B) > 0$ dans le quadrant positif, telle que $F_B(0) = \alpha$, avec α une valeur finie positive quelconque, et de plus une valeur $x = \beta$ pour laquelle $F_B(\beta) = 0$ (c'est la condition de croiser les deux axes). Ajoutons à ceci que $F'_B(p_B) < 0$ et ne prend que des valeurs finies, ou F'_B désigne la dérivé de la fonction.

Nous savons de ce qu'on vient de dire que la fonction d'offre vaut alors $O_B = F_B(p_B)p_B$ et donc $O'_B = F'_B(p_B)p_B + F_B(p_B)$.

Or, $\lim_{p_B \rightarrow 0} F'_B(p_B)p_B + F_B(p_B) = \alpha > 0$, et $\lim_{p_B \rightarrow \beta} F'_B(p_B)p_B + F_B(p_B) = F'_B(\beta)\beta < 0$ et donc la fonction O'_B s'annule quelque part, et en étudiant les signes, on déduit que l'offre passe par un point maximum.¹¹

Une courbe en cloche, comme celle qu'on vient de trouver, peut avoir en principe plusieurs intersections avec la courbe de demande, chaque intersection équivaut à un point d'équilibre du marché, comme nous l'avons illustré à la figure 4.1. Le cas avec trois intersections est le plus intéressant : les deux point L et M sont des points d'équilibre stables ; si l'on s'éloigne sur leur gauche, la demande dépasse l'offre, ce qui implique une augmentation du prix et un retour vers l'équilibre. Si l'on s'éloigne vers la droite, l'offre dépasse la demande, ce qui implique une diminution du prix, et un retour vers l'équilibre. Il en va tout autrement du point N : en effet si on se déplace sur sa gauche, l'offre dépasse la demande, le prix diminue et on s'éloigne du point N , et si on se déplace vers la droite, la demande dépasse l'offre, le prix augmente et on s'éloigne du point N : c'est un équilibre instable¹².

11. Une difficulté se pose si $F'_B(0) = F''_B(0) = \dots = \infty$, car dans ce cas on n'arrive pas à calculer la limite

12. Le cas limite avec deux points d'équilibre est obtenu en fusionnant (dans notre dessin)

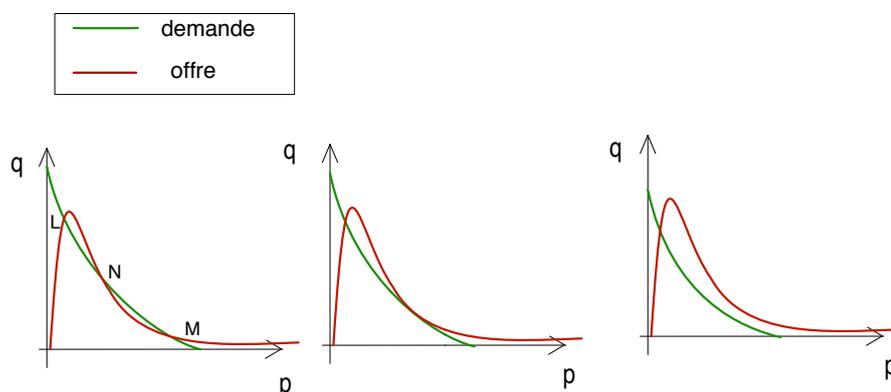


FIGURE 4.1 – Offre et demande dans l'exemple de Walras : p représente le prix, q la quantité de marchandise demandée. À gauche trois points d'équilibre, à droite un seul point d'équilibre. Au centre, le cas que Walras ne traite pas, avec seulement deux équilibres.

Walras ne s'intéresse pas au cas limite de deux intersections (ou ne s'en aperçoit pas), mais il discute soigneusement la stabilité des équilibres ainsi que leur unicité. Il est bien conscient que l'équilibre pourrait ne pas être unique. Walras est toutefois convaincu que le problème de la multiplicité des équilibres disparaît dans le cas de plusieurs marchandises, et il fournit même un argument qualitatif à ce propos : l'argument présenté au §156, suite à la discussion de l'échange de plusieurs marchandises n'est pas mathématiquement rigoureux, mais fait appel à une intuition de l'auteur.

Quand les marchandises sur le marché sont en grand nombre, la courbe de vente de chacune d'elles, alors même qu'elle ne se confond pas en tout ou partie avec la parallèle de la quantité totale existante, s'en rapproche évidemment pour la plupart des prix entre les plus faibles et les plus forts ; de sorte qu'il n'y a pas généralement, dans le cas de l'échange de plusieurs marchandises entre elles, plusieurs prix courants d'équilibre possibles, comme cela a lieu dans le cas de l'échange de deux marchandises entre elles (ibid. p. 241-242, p. 163).

les points M et N : l'équilibre qui en découle est un équilibre métastable, au sens où un déplacement vers la droite implique un retour au point d'équilibre, un déplacement vers la gauche implique qu'on quitte l'équilibre. On aurait pu fusionner les points L et N et renverser le raisonnement.

Cette citation quelque peu obscure est tout ce que Walras dit sur les équilibres multiples. Ce qui est clair, c'est que Walras estime important d'éviter la multiplicité des équilibres, un fait très intéressant si on le compare, par exemple, avec l'attitude de Boussinesq face à une difficulté semblable en physique (voir au chapitre 6). De toute évidence, Walras est gêné par sa découverte de plusieurs équilibres, et préférerait se débarrasser de cette difficulté inattendue : la multiplicité des équilibres entre offre et demande, qui est pourtant une violation du déterminisme des lois économiques, n'est pas perçue comme une possible échappatoire du dilemme déterministe, mais au contraire comme un problème qu'il faut s'efforcer de résoudre et d'éliminer.

On peut comprendre cela en ces termes : la multiplicité des équilibres implique que les lois économiques d'offre et de demande ne sont pas fatales (c'est-à-dire déterministes) ce qui les ferait sortir du cadre de l'économie politique pure.

Pourtant, l'indéterminisme découvert par Walras, pourrait bien s'interpréter comme la conséquence d'actions d'individus libres. Imaginons pour un instant que le commissaire-priseur, cette fiction que Walras n'avance pas mais qui a été souvent mobilisée pour expliquer le tâtonnement, se décide à crier un prix qui a comme conséquence de se situer d'un côté ou de l'autre de la courbe, et donc de déterminer l'un des prix d'équilibre possibles. Si ce commissaire-priseur est un véritable individu, le prix d'équilibre devient un fait humanitaire plutôt que naturel, et l'économie pure perd son statut de science naturelle en ce qui concerne la détermination d'un équilibre offre demande. Selon que le premier prix crié soit sur un point plutôt qu'un autre de la courbe, on se retrouvera avec des équilibres différents. Voilà que l'action de la volonté libre d'un individu peut bien influencer le marché en libre concurrence. Le commissaire-priseur n'aurait qu'à commencer par un prix très haut afin de favoriser un des deux équilibres, ou par un prix très bas afin de favoriser l'autre.

L'ironie de l'histoire réside dans le fait que le commissaire-priseur n'est vraisemblablement rien d'autre qu'une fiction utile, une variable dans un algorithme qui permettrait d'atteindre l'équilibre (Baranzini, 2011). Il pourrait être remplacé par une machine ou un générateur de nombres aléatoires, qui crierait un prix initial au hasard, car ce n'est au fond qu'une méthode de résolution du problème de l'équilibre. L'indéterminisme dont nous venons

de discuter serait alors conséquence d'une contingence entièrement hors du contrôle de quiconque, et les lois économiques perdraient leur caractère aveugle et fatal.

4.4.2 Morale pure et lois nécessaires

En dehors de l'économie pure, nous l'avons dit, Walras utilise peu ou pas de mathématiques. Il s'agit d'ailleurs, suivant son épistémologie, de décrire les effets des actions des hommes sur les choses et des hommes sur d'autres hommes. Les hommes se définissent comme libres, et leur action ne peut donc pas être déterminée : il est alors peu surprenant que des mathématiques 'déterministes' ne soient pas l'outil approprié à cette tâche.

Cependant, les choses ne sont pas si simples. Walras définit en effet, comme on l'a vu, une quadripartition de la science. La morale pure, qui s'occupe aussi de types idéaux, obéit à des lois qui sont aveugles et fatales au même titre que celles de l'économie pure.

Certes, les lois de la morale pure sont des lois historiques, qui concernent donc les hommes dans leur ensemble, plutôt que des individus singuliers. Cependant, il y a une difficulté au niveau de la coordination entre les volontés individuelles, libres, et des lois collectives qui ne le sont pas (Dockes, 2014). Ce problème présente une analogie avec celui de Quetelet : il concerne la conciliation de lois collectives avec le comportement individuel. Cependant, les lois de Quetelet, étant statistiques, ne sont que des tendances. Les marges d'erreur, les imprécisions qu'elles présentent, témoignent, comme Quetelet le dit, de l'indéterminisme sous-jacent. Est-il possible de disposer de lois 'aveugles et fatales', qui n'ont donc aucune marge d'erreur, tout en gardant une liberté individuelle ? C'est à cette difficulté qui se heurte l'épistémologie de Walras.

Chez Walras, les types idéaux permettent d'extraire du réel, des formes qui sont idéales à plus d'un sens. Elles sont idéales au sens classique de l'idéalité du cercle : le type idéal du cercle est parfait (et en ce sens, il s'agit du 'vrai' cercle qui n'existe pas dans la réalité contingente). Tout cercle qu'un géomètre pourrait tracer sur une feuille n'est qu'une approximation, une version imparfaite du cercle idéal, mais il renvoie à une idée de cercle parfaite et idéale. En ce sens, le cercle parfait n'existe pas dans la réalité contingente, mais il existe en tant que forme idéale. Mais les types idéaux sont aussi idéaux au sens qu'ils dévoilent une forme idéale vers laquelle

la société tend. Il s'agit de dévoiler les « rapport aux valeurs d'utilité et de justice que Walras croit *scientifiquement définissables* (Tatti, 2000b, p. 424) ». Or, cette deuxième idée d'idéalité implique l'acheminement de l'humanité vers sa destinée idéale d'une façon inéluctable et donc déterminée. Découvrir les types idéaux signifie pour Walras découvrir ce vers quoi l'individu libre doit tendre, sa destinée. Une fois la destinée connue, c'est-à-dire une fois les types idéaux dévoilés, l'homme ne peut que s'acheminer vers la réalisation de ces types. « Walras admet que la liberté de l'homme est seulement liberté de réaliser, par l'histoire, ce qui est conforme à sa nature, la cité idéale. [...] La philosophie de l'histoire de Marx connaît scientifiquement le chemin et en déduit la fin ; celle de L. Walras connaît scientifiquement la fin, l'Idéal social, et en déduit la nécessité du chemin. Dans les deux cas, la liberté posée au départ est engloutie sous le déterminisme [...] » (Dockes, 1996, p. 50).

On retrouve une difficulté de conciliation entre l'individu singulier, qui est libre par définition (c'est-à-dire que d'être libre revient à ce qu' 'homme' signifie pour Walras, un homme est par définition du mot un être clairvoyant et libre), et une humanité prise dans son ensemble qui ne l'est pas. Cette tension est d'autant plus exacerbée par la deuxième propriété de l'homme : la clairvoyance. Un individu qui refuserait de s'acheminer vers sa destinée ne serait pas clairvoyant et ne serait donc pas un homme. Mais si la clairvoyance implique la détermination, alors que la liberté est en conflit avec cette même détermination, on peut se demander comment il est possible de trouver une conciliation entre ces deux natures de l'homme.

Une partie de la solution de ce dilemme pourrait venir de la lecture suivante de l'épistémologie de Walras :

Économie pure et morale pure dévoilent les types idéaux, qui, outre que forme idéale de la réalité contingente, sont aussi un point d'arrivée, une destinée vers laquelle l'homme doit tendre (Dockes, 1999, 2005). Dans la vision téléologique de Walras, cette destinée est inéluctable. L'homme n'a pas d'autre possibilité que de réaliser cette destinée. Il est alors normal que les lois de l'histoire, qui décrivent l'acheminement vers cette destinée soient aveugles et fatales. La fatalité des lois de la morale pure n'est que la conséquence de la clairvoyance de l'homme, qui implique son acheminement vers une société idéale. Quant à elle, l'économie politique pure décrit des rapports de production, de marché, etc. qui ne sont pas actuels et contin-

gents, mais qui se réaliseront dans la société idéale. La valeur d'échange issue de l'équilibre walrasien est la seule qui est compatible avec la nature de l'homme. D'où le déterminisme des lois : il n'y a qu'une seule valeur d'échange possible qui réalise cette compatibilité. Finalement, la symétrie entre morale pure et économie pure est brisée par l'absence des mathématiques dans la première, alors que la deuxième est massivement mathématisée. Cependant, les lois de la morale pure sont des lois qui concernent le chemin qui mène à la société idéale, alors que les lois de l'économie pure sont des lois idéales, qui seront réalisées une fois le chemin entièrement parcouru. Cette asymétrie entre réalité future et chemin pour y parvenir justifie l'asymétrie de la méthode.

En revenant à l'analogie avec Quetelet, on voit que les lois sociales de Quetelet sont des lois contingentes, elles concernent la réalité présente. Ces lois sont vraies statistiquement, et comme toute tendance statistique elles ont une marge d'approximation, au même titre qu'un cercle réel, tracé par un géomètre, n'est qu'approximativement circulaire. Walras croit que de même que pour le cercle, il est possible d'extraire des régularités (statistiques ou autres) un type idéal, qui lui n'est plus réalisé dans le contingent, au même titre que le cercle parfait. De plus, ce type idéal n'est pas seulement 'forme parfaite' mais il est aussi ce vers quoi la société tend, et qui sera réalisé au travers d'un parcours historique.

Il y a une analogie singulière, frappante, décisive entre les mathématiques (géométrie, algèbre, mécanique) et les sciences morales abstraites (cénonique, économique). Les unes et les autres ont franchement pour objet des représentations de l'imagination : étendue, durée, mouvement - personne morale, travailleurs divisant le travail - types idéaux, parfaits, absolus, précisément parce qu'ils sont des créations de l'esprit non pas sans rapport avec la réalité, mais sans objet corrélatif dans la réalité. *Cercle parfait, volonté libre*, deux représentations de l'imagination (Walras, 2000, p. 557)

Y a-t-il plusieurs parcours historiques possibles ? Au niveau contingent peut-être : des hésitations ou des temps plus ou moins longs dans la réalisation de la destinée humaine pourraient être compatibles avec l'idée de Walras de lois historiques. Mais dans la mesure où les lois de la morale pure sont aveugles et fatales, on peut croire qu'au niveau des lois historiques

générales, abstraction faite de leur réalisation contingente, la réponse est négative. La raison est à trouver dans la clairvoyance : l'individu libre pourrait ne pas se conformer à l'idéal, mais sa clairvoyance l'empêche de faire un tel choix.

Lorsque les actions des individus sont prises en compte dans leur totalité, elles donnent lieu à un comportement déterminé qui aboutit téléologiquement à la société idéale. Cette détermination se répercute sur le niveau individuel en faisant primer la clairvoyance sur la liberté :

La science morale (sociale et individuelle à la fois) se fonde donc, non sur le *libre arbitre* (*l'impératif catégorique*), ni sur le *postulat de la liberté*, mais sur la possibilité, pour l'homme, de faire servir sa volonté à être vertueux et non vicieux. (Walras, 2000, p. 571)

Qu'en est-il alors de la liberté ? La liberté reste un aspect explicatif important du comportement humain. L'idée même de clairvoyance implique la capacité de discerner parmi plusieurs possibilités celle qui est plus appropriée. Mais un tel choix clairvoyant nécessite de disposer d'une panoplie de choix possibles. Si un seul chemin est possible, la clairvoyance devient en elle-même superflue.

Or, cet éventail de possibles implique la nécessité de la volonté libre comme explication des faits moraux : sans elle on ne peut pas expliquer ce que la clairvoyance signifie et on ne peut pas rendre compte de l'agir humain. Cependant, ce niveau d'explication demeure uniquement épistémologique.

La « volonté libre » de l'individu est la *composante* indispensable pour expliquer les faits moraux.

Cette composante n'est pas fondée en métaphysique (métaphysiquement, la liberté, la personnalité, l'individualité est une illusion. L'unité n'est pas un attribut de la réalité *morale* plus que la réalité *physique* ; elle n'est un attribut que de l'être *métaphysique*).

Cette composante est fondée en science. [...] (ibid. p. 598-599)

Mais l'illusion de la liberté, si d'illusion on parle (et Walras nous semble-t-il en dit relativement peu à cet égard) n'est pas moins importante afin d'expliquer scientifiquement le cheminement vers l'idéal. Elle a des effets qui contribuent à la marche de l'histoire.

En admettant que la liberté est une illusion, cette illusion est un fait et constitue une force composante à côté des autres : milieu, race, époque - dont la résultante est l'accomplissement de la destinée humaine, force d'autant plus grande qu'on la développe en l'affirmant. (ibid. p. 598)

Nous pensons finalement que Walras estimait la question du déterminisme une question métaphysique, dont la réponse ne pouvait pas se trouver en science : les bases de la science chez Walras sont épistémologiques et ne permettent pas d'aller plus loin que l'épistémologie. S'il est vrai que, comme Walras l'a écrit, « [l]e déterminisme, c'est de la métaphysique, non de la science (p. 599) », la question de la compatibilité entre déterminisme, science, mathématiques et libre arbitre peut se scinder en deux sous-questions. D'un point de vue épistémologique, la liberté est un présupposé, et constitue l'une des propriétés caractéristiques de l'homme, avec la clairvoyance. Elle est subordonnée à celle-ci et entièrement engloutie par les lois de l'histoire une fois que l'on passe de l'homme à l'humanité. Cela ne change pas le fait qu'elle est bel et bien posée comme base fondatrice de l'épistémologie walrasienne. C'est là une tension entre individu et collectif qui est commune avec Quetelet, mais qui est exacerbée chez Walras par le caractère aveugle et fatal des lois (Lallement, 2014).

D'un point de vue métaphysique c'est moins évident ; mais si « la grande utilité de la métaphysique dans la science, c'est d'abord qu'on évite de faire de la métaphysique en faisant de la science (ibid. p. 598) », on peut se douter que Walras ne devait pas voir avec sympathie les tentatives de montrer la vérité (ou la fausseté) du déterminisme par la science, parce que simplement hors de propos. C'est une suggestion pertinente en son temps, et peut-être aujourd'hui aussi.

4.4.3 Walras et Levasseur : histoire d'une rencontre échouée

Nous aimerions maintenant revenir sur la question de la réception de Walras par ses contemporains, notamment par rapport à la question de l'emploi des mathématiques, et tout particulièrement en ce qui concerne le lien entre mathématisation et liberté.

Rappelons brièvement l'épisode clé qui justifie cette liaison entre mathématiques et liberté : en janvier 1874, dans le cadre d'une 'campagne promo-

tionnelle' visant à faire connaître ses travaux, Walras est invité à l'*Académie des sciences morales et politiques* à Paris, afin d'y présenter ses *Principes d'une théorie mathématique de l'échange*. L'accueil qu'il reçut fut décidément hostile, et Walras s'en plaindra à maintes reprises.

Quant aux économistes qui, sans savoir les mathématiques, sans savoir même exactement en quoi consistent les mathématiques, ont décidé qu'elles ne sauraient servir à l'éclaircissement des principes économiques, ils peuvent s'en aller en répétant que "la liberté humaine ne se laisse pas mettre en équations" (Walras, 1900, OEC8 p. 20-21, p. xix).

Les comptes rendus de cette rencontre échouée racontent d'une incompréhension radicale notamment entre Walras et Émile Levasseur, professeur au collège de France.

Levasseur reproche à Walras plusieurs erreurs majeures dans sa démarche :

M. Levasseur insiste, en terminant, sur le danger qu'il y a à vouloir ramener quand même à l'unité les choses qui par essence sont complexes, ainsi qu'à appliquer à l'économie politique une méthode qui est excellente pour les sciences physiques, mais qui ne saurait être appliquée sans discernement à un ordre de phénomènes dont les causes sont si variables, si complexes et dans lesquelles intervient surtout cette cause éminemment variable et irréductible en formule algébrique : la liberté humaine. Dans la plupart des cas où les sciences morales peuvent l'employer, la méthode géométrique ou plutôt la méthode graphique est utile comme moyen de démonstration bien plus que comme instrument de recherche. (Vergé, 1996 (1874), p. 26)

Les critiques de Levasseur seront peut-être les plus virulentes, mais ne sont pas les seules, et Walras aura d'autres occasions de se heurter à des sceptiques sur l'usage des mathématiques en économie. Nous allons donc nous plonger sur ces critiques et essayer d'en dégager le cœur ainsi que d'en comprendre les motivations diverses.

4.4.4 La critique de Levasseur

Si l'on reprend la remarque de Levasseur qu'on vient de lire, nous pouvons discerner un certain nombre de critiques distinctes :

1. Le fait de 'ramener à l'unité des choses complexes' peut se comprendre comme une critique contre une méthode de travail prônant un certain réductionnisme.
2. L'incompatibilité entre les formules algébriques et la liberté humaine.
3. L'idée que la méthode graphique peut bien servir à démontrer, mais n'est pas un instrument de recherche.

Nous n'allons pas discuter immédiatement du troisième point qui reviendra plus tard dans la correspondance Walras-Menger sous une forme touchant aux mathématiques en général. Il s'agit à notre avis d'une remarque assez subtile sur le rôle que les mathématiques jouent en économie, instrument d'exposition plutôt que moyen de découvrir des vérités sur le monde.

Le deuxième point, qui peut se regarder comme l'aspect le plus problématique du premier, la compatibilité entre liberté et mathématiques, nous occupera tout au long de ce chapitre.

Il n'est pas aisé de comprendre ce que Levasseur reproche exactement à Walras, car plusieurs questions pourraient être impliquées. À titre d'exemple Bridel (1996, p. 22) cite la confusion entre raisonnement mathématique et calcul arithmétique, le débat autour de la mesurabilité de l'utilité, l'incompréhension de la notion d'utilité marginale, la nature théorique de la démarche walrasienne, et naturellement l'incompatibilité entre mathématiques et liberté¹³.

Nous allons essayer de prendre la remarque de Levasseur au sens littéral plutôt que comme simple boutade, et de comprendre ce que la mathématisation pouvait bien impliquer à ces yeux par rapport à la liberté.

S'il est vrai que Levasseur semble ne pas saisir entièrement certains aspects de l'entreprise de Walras, notamment l'usage des mathématiques autrement que comme outil pragmatique de calcul, nous pensons que la réaction, à première vue, a de quoi surprendre.

13. Pour une discussion de l'accueil des mathématiques par les libéraux français vois aussi Breton (1986); sur les rapports aussi difficiles, mais moins conflictuels avec les ingénieurs, voir Béraud (2011).

Il semble en effet curieux que Levasseur, un statisticien habile et compétent, ait été si farouchement opposé à une démarche comme celle de Walras qui envisageait l'application de méthodes issues des sciences naturelles aux sciences humaines, une méthodologie qui n'était pas fort différente de celle qui avait amené Quetelet à introduire les statistiques en sciences humaines, et que nous pouvons inscrire dans la 'vague mécaniciste'. En vue du débat queteletien sur l'incompatibilité entre liberté et statistique, on pourrait penser que Levasseur, qui en employant massivement les statistiques avait choisi son camp, devait se sentir à l'abri par rapport à la question du déterminisme. Pourquoi alors la ressortir, de plus dans un contexte de pacification encore partielle, qui aurait pu remettre en doute ses propres procédés ? Qu'y a-t-il de si profondément différent épistémologiquement entre la démarche de Walras, d'appliquer le calcul différentiel à l'économie et la démarche de Levasseur d'y appliquer les statistiques ? Walras ne manque pas de remarquer ce même point :

M. L[evasseur] admet le calcul de la natalité et de la mortalité. J'apprends avec surprise que la liberté n'a aucune influence sur la natalité et la mortalité. J'avais cru jusqu'ici que nous étions libres de nous marier ou de rester célibataires, de prolonger notre existence par un régime sage ou de l'abréger par des excès, même de nous brûler la cervelle. Ce qui n'empêchait pas d'ailleurs la statistique de constater que tant pour cent d'entre nous seulement usent annuellement de cette *liberté*. (Walras, 2000, p. 534-535)

La critique qui a été souvent avancée par les contemporains de Levasseur, que l'économie est une science morale, pourrait expliquer en partie le rejet, mais n'explique pas entièrement cette réaction bien que ce soit l'argument avancé par Wolowski lors de la venue de Walras à Paris. Cependant, Levasseur n'en fait pas mention lui-même, et il avait déjà en tant que statisticien appliqué des méthodes des sciences naturelles à l'économie, sans que cela lui pose problème. Pour répondre à ces questions, il nous faudra donc nous pencher sur la personne de Levasseur et sa pensée, afin de mieux comprendre son attitude.

4.4.5 Pierre Émile Levasseur et les mathématiques

Pierre Émile Levasseur fut un statisticien, géographe et économiste français. Bien que des nos jours presque oublié, il fut un éminent historien des faits économiques et savant polymathe, extrêmement influent et actif dans des domaines disparates (Palsky, 2006; Boureille et Commerçon, 2000).

Levasseur s'exprime contre l'usage des mathématiques en économie : par exemple, concernant la loi de Malthus sur la croissance de la population, il affirme qu'« il est téméraire de prétendre exprimer par une formule mathématique quelconque un rapport variable qui n'est pas susceptible de précision numérique (Levasseur, 1891b, p. 151) ». Bien que Levasseur accorde que « les faits montrent [donc] qu'il existe un rapport intime entre le nombre des habitants et la quantité de richesse produite dans une contrée (ibid.) », il se montre méfiant envers l'usage de formules mathématiques, et il montre d'ailleurs « qu'il y a peu de pays où la progression de la population soit celle que suppose Malthus (ibid. p. 152) ».

Cette prudence dans l'usage des mathématiques s'exprime par grades, et est de plus en plus importante qu'une science s'éloigne des phénomènes naturels, pour décrire des individus.

On peut classer les sciences en deux grandes catégories : les *sciences du raisonnement*, [...] et les *sciences d'observation*, [...] À la première catégorie appartiennent les mathématiques [...] À la seconde catégorie appartiennent les sciences naturelles, [...] et les sciences morales, [...] Moins les faits qu'une science d'observation étudie sont complexes et variables, plus cette science approche dans ses résultats de la certitude propre aux sciences mathématiques : témoin l'astronomie. C'est pourquoi les plus difficiles à traiter sont les sciences morales. Ayant pour objet un être libre, elles rencontrent les phénomènes les plus complexes et les plus divers, des exceptions fréquentes qui, tout en témoignant en faveur de la liberté, la plus belle loi de la nature humaine, rendent plus délicate la constatation des autres lois au milieu desquelles cette liberté se meut. (Levasseur, 1867, p. 4-5)

Cette citation provient d'un petit ouvrage qui date du début de la carrière de Levasseur et qui se trouve dans la bibliothèque de Walras, qui l'a parfois annoté. Elle témoigne de la méfiance de Levasseur envers les démarches

analytiques et théoriques appliquées aux sciences qui traitent de l'homme. L'appel à la liberté, dont les effets ne sont pas modelisables, peut être rapproché des débats autour de la liberté et des statistiques qui avaient concerné Quetelet. En tout cas, Levasseur se montre préoccupé par la question, et met en avant ce qu'il considère comme deux inconciliables : la liberté humaine et les démarches théoriques et analytiques. De telles démarches demandent une régularité des faits qui n'existe pas là où la liberté agit.

Levasseur répond implicitement à une autre critique qui lui a été adressée de ne pas comprendre « la nature théorique de la démarche walrasienne (Bridel, 1996) ». Levasseur refuse en effet le clivage entre économie pure et appliquée, mais aussi l'idée de faire une 'économie théorique' comme en témoigne ce passage.

[...] l'économie politique, est incapable de rendre compte de tous les faits qui peuvent naître si variés du jeu de la liberté humaine [...]. Quelques écrivains, à cause de cette difficulté, ont divisé la science économique en *économie politique pure*, ne renfermant que les lois absolument nécessaires et générales et méritant seule le nom de science, et en *économie politique appliquée*, montrant les applications variables de détail et l'influence des lois humaines sur les lois scientifiques, et devant être désignée plutôt sous le nom d'art.

Cette distinction, quelquefois commode, ne répond pas bien à la nature des choses, et, en réalité il n'y a qu'une seule et même *économie politique*. Tout fait que l'on observe est une application, [...] (ibid., p. 6-7)

Levasseur refuse donc de séparer les démarches théoriques de l'approche appliqué et empirique. Le statisticien de terrain résout la tension entre théorie et pratique en faveur de la deuxième : il n'y a pour lui qu'observations et applications. Ce refus de distinguer économie pure et appliquée est certes aux antipodes de l'épistémologie walrasienne, mais permet de bien cerner les raisons de l'incompatibilité entre la démarche du Lausannois et celle de Levasseur. Pour Levasseur, une épistémologie de type walrasien est inacceptable. L'économie politique est une entité unique qui ne se prête pas au clivage théorie/application.

Dans la pensée de Levasseur, une importance centrale est accordée à la séparation nette entre sciences naturelles et sciences humaines. Levasseur

insiste beaucoup sur les différences entre l'étude de l'homme et celle de la nature.

[...] le physicien, le chimiste, le naturaliste font des expériences [...] jusqu'à ce que la lumière se fasse et que la conviction s'établisse solidement dans leur esprit, tandis que le savant qui étudie la société ne saurait la mettre dans un creuset pour en décomposer les éléments, [...] l'homme est libre, tandis que la matière est soumise à des lois immuables. Cette liberté, [...] introduit dans la vie sociale une variété, une instabilité de phénomènes [...] qui, compliquant la tâche de l'observateur, semble lui interdire l'espérance de découvrir dans cette mêlée confuse une loi, c'est-à-dire quelque chose de fixe. (Levasseur, 1889, p.4)

Les sciences sociales sont donc difficilement sujettes à des expériences contrôlées, dans lesquelles des paramètres isolés peuvent être mesurés et variés un par un ; en même temps, le libre arbitre échappe à toute modélisation, et représente un empêchement majeur dans l'établissement de lois sociales. Ce libre arbitre qui revient une fois de plus marquer la différence entre sciences naturelles et sciences de l'homme est source d'une instabilité rendant vaine toute modélisation.

La statistique dépasse cet obstacle en étudiant « par masses en groupant un grand nombre de faits de même nature (ibid., p.17) » ; c'est « l'étude numérique des faits sociaux (ibid. p. 7) ». Levasseur discute d'ailleurs les nuances d'application et les domaines dans lesquels il est possible de faire usage des statistiques avec une certaine prudence, et en étant attentif à éviter des excès d'enthousiasme. La statistique « n'analyse pas un fait au scalpel ou au microscope (p. 17) », et c'est cela qui lui permet de traiter cette grande complexité qui caractérise le monde social. Elle n'est pas, nous dirions de nos jours, réductionniste dans sa démarche, et elle permet d'esquiver les deux problèmes de la reproductibilité des expériences et de la liberté individuelle, sans pour autant supposer que cette liberté n'existe point.

Enfin, Levasseur avait une conception originale et intéressante de la différence entre sciences sociales et sciences physiques :

L'homme étudie les lois de la matière, il ne les crée ni ne les modifie. Il en est autrement pour les sciences morales. Là aussi, l'homme observe des phénomènes, mais des phénomènes qui

émanent de lui ; [...] [i]l est à la fois observateur et observé, sujet et objet. [...] Il se produit ainsi une réaction de la science, issue de l'observation des phénomènes, sur la marche des phénomènes eux-mêmes, [...] et l'on peut dire que, par les sciences morales, l'homme non seulement étudie les lois de sa propre nature, mais apprend à mieux conformer à ces lois sa conduite privée et ses institutions publiques ; (Levasseur, 1869, p. 124).

Dans ce paragraphe on devine une intuition assez étonnante ; ce qui est intéressant, c'est le clair clivage que Levasseur identifie entre des lois de la nature et des lois sociales. Les lois naturelles sont objectives et indépendantes de nous, mais cela n'est pas vrai des lois sociales. On imagine mal, en tout cas du temps de Levasseur, comment une loi mathématique pourrait rétroagir sur elle-même, et un tel doute ne relève pas d'une incompréhension des mathématiques. Les 'causes variables' prennent alors une saveur différente : en effet, si l'un des caractères des lois économiques est cette historicité et capacité de s'autoinfluencer, ce qui implique des changements rapides des 'lois sociales' dans le temps, on comprend aussi pourquoi de telles lois sont difficilement mathématisables. De plus, on peut penser que la liberté dont les hommes sont pourvus permet en partie de guider ses effets d'autoinfluence, ce qui échappe, selon Levasseur, à toute mathématisation. Les statistiques, qui constatent des données et les organisent dans des formes qu'on peut traiter mathématiquement ne posent pas de problèmes. Mais une démarche théorique et analytique comme celle de Walras est beaucoup plus problématique. Ce que Levasseur pourrait avoir à l'esprit lorsqu'il affirme que « la liberté ne se met pas en équation », c'est que les lois économiques ne sont pas naturelles au même sens des lois physiques, notamment par la possibilité qui ont les agents de changer leur comportement et ainsi de changer même les lois économiques. L'outil mathématique, très efficace pour décrire les phénomènes astronomiques sur lequel nous ne saurons exercer d'effet, ou le mouvement d'une pendule qui ne dépend en rien de notre volonté ne l'est pas du tout lorsque nous ne sommes pas seulement observateurs du phénomène mais nous sommes aussi l'objet observé.

La position de Levasseur sur la liberté et le déterminisme représente un compromis, sans pour autant véritablement rentrer dans le vif du sujet ; peut enclin au débat philosophique, Levasseur se contente de remarquer l'utilité du déterminisme pour la démarche scientifique, et en même temps

de la liberté, « car si l'homme n'était pas libre, une collection d'hommes ne le serait pas davantage (Levasseur, 1891a, p. 201) ». Claval et Nardy (1968, p. 41) nous informent que Levasseur fut influencé par Quetelet, mais « il ne s'était pas laissé séduire par la fiction de 'l'homme moyen' » et qu'il « refusait le 'fatalisme qui semblait se dégager des nombres' ».

Levasseur ne changera jamais d'avis sur les mathématiques : dans une publication de 1898, il insiste encore sur les réserves face « à une méthode que quelques économistes ont préconisée et même quelquefois employée avec talent, la méthode mathématique (ibid. p. 295) ». De telles réserves sont une fois de plus dues au fait que « si dans la réalité, les données étaient toujours simples et immuables et si les conséquences s'enchaînaient nécessairement, cette méthode aurait assurément une belle carrière. Mais il n'en est rien. [...] [Ainsi] elle conduit l'économie politique dans une voie dangereuse, proposant comme une certitude mathématique des résultats qui peuvent se trouver faux (ibid. p. 296) ».

Levasseur reste donc convaincu de l'impossibilité d'une démarche théorique en économie, et se rabat constamment sur l'aspect empirique.

Levasseur rajoute à son argument une note de bas de page qui reprend l'un de ses écrits de 1868, qui montre toute son aversion pour l'emploi des mathématiques en économie.

Quelques mathématiciens [...] se sont dit qu'une science qu'on définit parfois 'la science des valeurs' [...] devait être traitée par les lois des nombres [...] Non que les mathématiques ne puissent fournir un secours puissant pour fouiller tel problème donné ou pour exposer d'une manière didactique tel résultat obtenu ; [...] [Cependant,] [l]es mathématiques ne créent pas davantage les données de leurs problèmes ; elles le reçoivent, les élaborent et en tirent un résultat qui [...] vaut exactement ce que valaient les données [...] Voilà pourquoi l'économie politique, science morale, ne peut pas les accepter pour guide[...] Sa véritable méthode c'est la méthode d'observation dont Bacon a tracé les règles. (Levasseur, ibid., p. 296)

Ce paragraphe, que Levasseur écrit en 1868 et reprend entièrement trente ans plus tard, nous donne un dernier argument, la nature « tout[e] déducti[ve] (ibid.) » des mathématiques. On ne peut rien découvrir de nouveau avec les mathématiques, on peut uniquement rendre claires des in-

formations cachées « à peu près comme une pression vigoureuse exprime d'une éponge gonflée tout le liquide qui y était caché (ibid.) ». Le risque est en contrepartie, de se faire emporter par l'instrument mathématique sur un faux chemin. Levasseur par son appel à Bacon insiste sur la nature empirique et inductive de l'économie, contre une démarche théorique et déductive qui lui paraît stérile. Dans cette même citation apparaît aussi un ultérieur appel à la liberté, une fois de plus opposée aux mathématiques.

Si on compare la citation de Levasseur à celle de Walras sur l'utilité des mathématiques¹⁴, qui seraient une 'guide', capable de 'penser' on est vraiment sur deux pôles opposés. Walras traite les mathématiques comme le font les physiciens ; Levasseur s'oppose fermement à ce genre de démarche qui voit dans les mathématiques bien plus qu'un simple outil d'exposition. Il a donc compris une partie de la démarche walrasienne et s'y oppose avec force. On peut imaginer que s'il avait pu la comprendre davantage, notamment en ce qui concerne le penchant idéaliste de Walras et ses idées sur la nécessité des lois économiques il n'en aurait été que plus contrarié, puisque de toute évidence Levasseur est rebuté par les démarches analytiques et idéalistes.

Levasseur nous met donc en garde contre un outil qui lui paraît peu adéquat au travail de l'économiste et souligne en même temps l'aspect instrumental des mathématiques. Cet accent mis sur le rôle déductif des mathématiques qui ne sauraient rien découvrir de nouveau rappelle de près les arguments de Menger dans la correspondance avec Walras que nous allons discuter par la suite ; on ne peut d'ailleurs qu'opposer l'attitude de Levasseur sur la nature instrumentale et déductive des mathématiques, qui ne peuvent rien ajouter à notre connaissance, mais seulement la clarifier, avec celle opposée de Walras et des types idéaux. Si comme on l'a parfois dit, Levasseur n'avait rien compris à l'attitude et aux idées de Walras, on peut se douter qu'une telle compréhension n'aurait pu qu'aggraver le contraste entre les deux hommes.

14. Une circonstance qui fait des mathématiques un exercice de logique admirable, consiste en ce que les formules sont toujours beaucoup plus larges que les cas qui les ont fait trouver. Elles vous guident dans d'autres cas que l'on ne soupçonnait pas. Elles pensent ainsi pour vous. (Walras, 2000, p. 555)

4.4.6 Deux critiques aux mathématiques de Walras

Outre celle de Levasseur, d'autres critiques se lèvent contre l'usage des mathématiques par Walras. Il y a notamment les recensions des *Éléments*, parmi lesquelles on compte plusieurs notes positives, mais aussi des critiques sévères, notamment par des auteurs français.

Certaines des critiques sont d'un intérêt particulier pour leur contenu : c'est par exemple le cas de celle d'Eugène Van der Rest (1996 (1886), p. 227-231), qui présente une critique de la *Théorie mathématique de la richesse sociale*. Van der Rest estime impossible d'appliquer la méthode mathématique à toute l'économie « [P]arce que les phénomènes économiques sont soumis à une variété d'influences extérieures telle que l'émission d'une loi en cette matière n'est possible que pour autant que la formule adoptée ait une certaine élasticité, et c'est ce qui est en contradiction manifeste avec les formules mathématiques (ibid., p. 230) ». Néanmoins, il estime possible d'utiliser les mathématiques dans un but de clarté d'exposition pour certaines applications particulières. La critique qu'il fait à Walras est donc similaire à celle de Levasseur : la rigueur mathématique se concilierait mal avec la nature de l'économie politique qui ne présente pas des phénomènes réguliers au même degré que la physique.

La critique la plus intéressante vient probablement de l'italien, Luigi Ridolfi (1996 (1883), p. 203-209), qui discute la 'Théorie mathématique de la richesse sociale' en 1883. Ridolfi distingue, en se référant à Boccardo, deux usages possibles des mathématiques, l'un formel, l'autre objectif.

L'approche formelle « pris par fondement une loi quelconque tirée de l'expérience, ou bien une hypothèse conforme aux faits d'observation, réussit grâce aux procédés de calcul à révéler les rapports cachés entre les éléments divers qui agissent en les phénomènes à l'étude¹⁵ (ibid. p. 204, je traduis) », alors que dans la méthode objective « servent à rechercher l'existence de relations entre les éléments en action et à en dévoiler la vraie nature¹⁶ (ibid., je traduis) ».

Un tel partage est du plus haut intérêt en vue de notre débat : Ridolfi est en train d'énoncer l'existence d'une double nature des mathématiques,

15. presa a fondamento una qualche legge desunta dall'esperienza, od anche un'ipotesi che ai fatti osservati si conformi, coi procedimenti del calcolo perviene a scuoprire le più riposte relazioni tra gli elementi diversi che siano in azione nei fenomeni da studiare

16. le formule algebriche [...] servono a ricercar[n]e l'esistenza [di relazioni tra gli elementi in azione] e a dimostrarne la vera natura

comme le fait Levasseur, et comme le fera Menger. Dans un cas les mathématiques sont descriptives ; mais dans l'autre, elles dévoilent des relations entre faits, et permettent donc d'accéder à une connaissance causale sur le réel.

Levasseur nie que ce soit possible, du moins en sciences humaines ; Ridolfi fait un pas de plus, et un de moins : il ne discute pas de la pertinence d'un usage plutôt que de l'autre. En revanche, il affirme que Walras use des mathématiques parfois dans un sens, parfois dans l'autre. Cette remarque est intéressante : elle nous montre que le problème du statut épistémologique des mathématiques était compris par certains lecteurs de Walras, et qu'il posait problème. Levasseur n'était pas seul dans sa critique. De plus, ses remarques renforcent la pertinence d'un clivage entre deux compréhension du langage mathématique, descriptif ou objectif (Langue de la Nature), qui visiblement est au cœur des préoccupations des auteurs que nous traitons.

4.4.7 La correspondance Walras-Menger

La correspondance Walras-Menger¹⁷ est un bon exemple de critique allant dans une direction semblable à celle de Ridolfi.

Walras contacte Menger assez tardivement, en 1883 seulement. Il le fait en envoyant sa *Théorie mathématique de la richesse sociale*, qui suscite une réponse de la part de Menger. L'échange entre les deux économistes est de court étendu, quoique d'assez longue durée (5 lettres, dont seulement trois sur des questions de fond, sur 5 ans), et aboutit à un échec et à une incompréhension de base en ce qui concerne l'usage des mathématiques (Garrouste, 1994). Il est cependant extrêmement intéressant d'analyser cette correspondance, qui met en avant un point important de la conception walrasienne du langage mathématique.

Walras et Menger partagent un premier point commun qui les oppose aux libéraux français (tels que Levasseur), et en général à « l'empirisme

17. Les renvois et références aux lettres de Menger et Walras sont ici faits en utilisant la traduction en français d'AntonelliAntonelli (1953). Le lecteur qui voudrait se confronter à la version en allemand pourra la retrouver aisément dans l'édition de la correspondance de Walras par Jaffé, que nous avons abondamment cité dans ce chapitre. Nous avons reporté les termes clé en allemand dans le texte, mais il nous semble plus approprié, dans la mesure où une telle traduction a été faite par un connaisseur de la langue allemande, de reporter la traduction d'Antonelli, plutôt que de nous aventurer dans un travail qu'on ne saurait faire qu'approximativement.

exclusif qui règne actuellement (Antonelli, 1953, Lettre de Menger, février 1884, p. 282) ». Selon Menger, tous deux pratiquent une méthode déductive : l'allemand revendique en particulier d'être un adepte de la méthode déductive, qui partant de prémisses simples, aboutit « aux faits les plus simples et indépendants de la volonté humaine qui poussent les hommes à l'échange des biens [...] (ibid. p. 281) ». De ces faits on pourra ensuite déduire les conditions qui « influent sur le niveau des prix, indépendamment de la volonté humaine » pour parvenir à formuler « des lois exactes ».

Cette démarche nous semble proche de celle de Walras dans l'absolu : en tout cas, l'opposition à l'empirisme, en faveur d'une démarche déductive, ainsi que l'existence d'un certain nombre de principes indépendants de la libre volonté des hommes et la formulation de lois sont des points auxquels Walras devait bien pouvoir s'identifier. Menger pour sa part devait être conscient de ce qui le rapprochait de Walras. Mais c'est à ce point qu'intervient une différence cruciale entre les deux hommes : Menger estime que les mathématiques peuvent s'utiliser pour décrire (*Darstellung*) et démontrer (*Demonstration*), mais qu'il ne s'agit en tout cas pas d'un outil de recherche (*Forschung*).

[...] la méthode mathématique est essentiellement une méthode d'*exposition* et de *démonstration* et non de recherche. (ibid. lettre de Menger du 28 juin 1883, p. 271)

Nous pensons que sur la nature des mathématiques, Menger penche pour ce que Ridolfi appelle une 'approche formelle' ; les mathématiques servent à mieux exprimer, mais ne peuvent pas créer des éléments nouveaux. La même critique apparaît chez Levasseur, bien que celui-ci soit clairement du camp des 'empiristes'. Walras de son côté a une idée toute différente des mathématiques : il voit l'instrument mathématique plutôt à la façon des physiciens, comme capable de dévoiler et exprimer des lois de la nature. Il répond par ailleurs à Menger qu'il « ne comprend[s] pas bien comment la méthode mathématique de recherche ne serait pas la méthode mathématique d'exposition et réciproquement (ibid., Lettre de Walras du 2 juillet 1883, p. 275) ». Si pour Menger les mathématiques sont un outil d'exposition, pour Walras ce sont un outil de découverte aussi.

La réponse de Menger est claire : il explique que l'économie recherche l'essence (*Wesen*) des phénomènes économiques : comme on l'a déjà vu

Menger s'intéresse à des questions théoriques, *a contrario* de ses contemporains empiristes penchés sur l'expérience. Mais pour Menger les mathématiques ne peuvent nullement aider dans cette entreprise. Les mathématiques walrasiennes mêlent, comme le dit Ridolfi, une nature formelle et une nature objective, pour la simple et bonne raison que les deux usages ne sont pas distingués dans l'esprit de Walras.

La citation de Walras sur les mathématiques qui 'pensent' pour le chercheur montre que Walras a une attitude très différente de Menger : son idée des mathématiques et celle d'un outil, mais aussi en partie d'un fil conducteur permettant de guider l'esprit du chercheur au travers du labyrinthe de la connaissance. Pour Menger en revanche les mathématiques peuvent tout au plus exposer un raisonnement, et par la clarté du raisonnement logique prouver que le raisonnement est correct, mais elles n'ont pas la capacité de guider le chercheur sur des voies nouvelles. L'entreprise de découverte scientifique se fait en amont de l'usage des mathématiques, alors que pour Walras elle se fait en même temps, et solidairement avec les mathématiques. Il y a de plus, comme on l'a déjà dit, la question de la vérité : pour Menger les mathématiques peuvent aider à mettre en avant la justesse d'un raisonnement, mais pour Walras elles garantissent la vérité d'un énoncé. Cette différence apparaît inconciliable, et montre la différence de Walras par rapport non seulement à ses opposants sur le plan philosophique, comme Levasseur, mais aussi à des auteurs philosophiquement proches comme Menger, sur la question spécifique de l'usage des mathématiques.

Auprès de Walras les mathématiques deviennent un outil de nature différente des statistiques de Quetelet. Si les statistiques étaient problématiques en vue des régularités qu'elles permettaient de déceler, elles n'impliquaient pas de difficultés en tant qu'outil. Au contraire les mathématiques de Walras sont en soi un outil chargé d'une signification déterministe. Ce n'est pas tellement pour ce qu'elles disent en économie, ni pour ce que Walras pense : elles sont liées au déterminisme car les mathématiques sont l'outil majeur des physiciens, et qu'elles suggèrent des analogies avec la physique sur le type de raisonnement et sur la nature des relations fonctionnelles qu'elles décrivent. Or, l'attitude de Walras, qui accordait aux mathématiques des propriétés singulières par rapport à leur capacité d'appriivoiser les faits éco-

nomiques, n'a certainement pas aidé à assainir les quelques malentendus sur l'usage des mathématiques, qu'il a contraire souvent entretenu. Que Walras ait réellement souscrit à un déterminisme absolu paraît fort peu probable, néanmoins il a certainement regardé aux mathématiques comme étant bien plus qu'un simple instrument. Le débat avec Levasseur, mais à un autre degré et dans un sens différent le débat avec Menger, suggèrent que si Walras ne souscrivait pas aux conséquences du déterminisme laplacien, il intégrait à sa démarche certaines de ses prémisses, notamment un regard sur les mathématiques comme Langue de la Nature. Ainsi l'attitude prudente de Cournot ne se retrouve nullement dans Walras, ce qui permettra à l'objection potentiellement marginale de Levasseur de prendre de l'ampleur. Levasseur se montre très prudent envers un usage des mathématiques qui lui semble incompatible avec la stratégie queteletienne de briser le pont réductionniste. C'est là donc une branche du débat queteletien qui, dans les mains des économistes et décliné aux saveurs d'un nouvel outil mathématique, prends une couleur différente, tout en gardant des rapports étroits avec sa source.

Chapitre 5

Maxwell et le déterminisme

In reading Clausius, we seem to be reading in mechanics ; in reading Maxwell, and in much of Boltzmann's most valuable work, we seem rather to be reading in the theory of probabilities

Gibbs

Dans ce chapitre, nous allons discuter la ‘vague rentrante’ du mécanicisme, tel qu’elle se manifeste dans les idées et les écrits de James Clerk Maxwell, tout particulièrement dans son approche à la thermodynamique.

Maxwell s’intéressait à la question de la compatibilité entre science et liberté au niveau microphysique. Il était aussi au courant des travaux de Quetelet, et comme nous le verrons il connaissait les débats sur la compatibilité entre distribution gaussienne, moyennes statistiques et libre arbitre. Son intérêt pour les statistiques est bien connu de la postérité, puisque Maxwell a le premier introduit des arguments statistiques en physique. Ces arguments ont permis de démarrer une recherche sur la théorie cinétique des gaz sous un angle probabiliste qui fait de Maxwell, aux yeux de la postérité l’un des pères fondateurs de la physique statistique, base microphysique de la thermodynamique. Des ébauches de raisonnement statistique peuvent être trouvés déjà avant Maxwell : ce fut le cas par exemple de l’article de Krönig (1856) et du plus célèbre article de Clausius (1857). Cependant Maxwell au cours de sa production sur la théorie des gaz parviendra à des résultats et à une profondeur de raisonnement qui dépassent largement tout ce qui avait été produit avant. La citation de Gibbs au début du chapitre nous semble témoigner de la réception globale que l’œuvre de Maxwell suscitait chez ses contemporains : la théorie des probabilités était passée maître de la scène

avec Maxwell et Boltzmann, alors que c'était la mécanique qui dominait au préalable.

Pourtant, Maxwell fut en un premier temps un champion du réductionnisme, inscrit dans une tradition de pratique des mathématiques bien particulière et tout à fait mécaniste au sens que nous l'entendons dans cette thèse. Même si ce n'était probablement pas dans ses intentions, Maxwell put être vu par ses contemporains comme un champion du déterminisme, et dans une certaine mesure cela fut bien le cas. Nous allons donc analyser cet auteur en essayant de montrer comment le glissement d'une pensée mécaniste vers une position probabiliste jointe à un agnosticisme sur la question du déterminisme s'est opéré chez Maxwell de façon jointe et souvent dépendante d'une prise de conscience de certaines arrière-pensées sur la question du déterminisme et de la liberté.

Cette idée que le positionnement philosophique de Maxwell a coévolué et largement influencé son travail de scientifique, et notamment qu'il permet un éclairage sur sa théorie cinétique des gaz a été défendue par d'autres auteurs (Stanley, 2008; Brush, 1976b; Porter, 1981). On pourrait se questionner aussi sur le mécanisme de Maxwell dans ses autres travaux, et notamment sur l'électromagnétisme. À ce propos, Hendry (1986) distingue deux façons d'approcher la physique, l'une dynamique, suspicieuse de toute hypothèse sur la structure du monde naturel, l'autre mécanique basée sur des hypothèses atomiques et sur des configurations géométriques. Cette deuxième conception mécanique est assez proche, quoique pas exactement, au sens que nous accordons au mot 'mécanisme'. Henry reconnaît lui-même que des telles étiquettes sont en soi assez floues, mais il semble tout de même classer Maxwell plutôt au sein des dynamistes, si ce n'est dans sa pratique au moins dans son sillon intellectuel. Les penseurs qui influèrent le plus Maxwell, nous pensons à Hamilton, Whewell ou même Stokes et Kelvin, sont aussi regardés par Henry comme des dynamistes, quoiqu'avec des nuances.

Cependant, il semblerait que Maxwell ait eu une tendance à rechercher des images et des explications davantage mécanistes dans ses premiers articles sur l'électromagnétisme, notamment dans *On Faraday's lines of force* de 1856 et dans *On physical lines of force* de 1861-62. Darrigol (2005), qui reproduit une traduction française des deux articles, affirme en particulier que le « but essentiel » de Maxwell était de « donner une représentation

mécanique » (p. 52) des équations de l'électromagnétisme. Ce n'est qu'en 1865, avec son *A dynamical theory of the electromagnetic field*, et puis en 1873 avec *A treatise on electricity and magnetism* qu'il abandonne les explications mécaniques, en faveur d'une approche plus dynamique, qui se concentre notamment sur une tractation en termes de lagrangiens. Sans trop nous aventurer sur une question qui demanderait davantage d'études, il semblerait donc que Maxwell ait évolué en ce qui concerne l'électromagnétisme d'une approche mécaniste vers un point de vue différent.

Dans le changement de perspective de la mécanique au probable que nous allons raconter dans ce chapitre, et qui concerne la théorie cinétique des gaz, le dilemme représenté par l'expérience de pensée connue comme le 'démon de Maxwell' représentera un tournant important, à la fois dans les idées de Maxwell et dans les ambitions du programme mécaniciste. Maxwell sera capable de montrer que les lois de la thermodynamique ne sont vraies que 'statistiquement' si l'on admet que la mécanique sous-jacente est déterministe. En revanche on peut accorder au deuxième principe un statut plus fondamental en supposant une irrégularité des mouvements microscopiques. Dans la mesure où l'accès à une connaissance du mouvement atomique était impossible, Maxwell parvient à un agnosticisme sur la question déterministe. Nous allons donc nous attarder sur cette question.

Lors de ses premiers travaux sur la théorie des gaz, Maxwell fit un usage de l'instrument statistique suivant une interprétation de celui-ci qui avait originairement été pensé pour traiter des données de sciences humaines. Le lien n'est pas direct et il n'est pas clair, dans quelle mesure Maxwell était conscient de son emprunt et du bagage idéologique qu'il suggérait. Nous savons grâce à Porter (1981) que Maxwell avait lu la *review* de Herschel sur les *Lettres sur la théorie des probabilités* de Quetelet. Herschel, dans sa critique de Quetelet écrite dans le style d'une « typical Victorian book review » (Brush, 1976b, p. 184), donne sa propre dérivation de la loi des erreurs, sans un traitement mathématique explicite, mais en prenant soin d'énoncer les hypothèses sur la nature des événements aléatoires si l'on veut retrouver une distribution normale. Herschel, discute aussi de l'omniprésence de la gaussienne dans les phénomènes naturels.

Il donne comme exemple de phénomène aléatoire une balle qui tombant d'une certaine hauteur, touche le sol à un certain endroit : la dispersion autour d'une valeur moyenne des lieux atteints par la balle suit une dis-

tribution gaussienne. Cet exemple est éclairant à plus d'un niveau : il a en commun avec ceux de Quetelet l'idée d'événements (la taille des conscrits chez Quetelet, les lieux atteints par la balle chez Herschel) possédant une réalité empirique. Par contre, la valeur moyenne n'en possède pas (la balle pourrait ne jamais attendre le lieu correspondant à la moyenne, et il n'y a peut-être aucun conscrit ayant exactement la taille moyenne), à contrario de l'usage qui était typique en physique (par exemple la position supposée d'une étoile connaissant un certain nombre de mesures). L'exemple de Herschel (1850, p. 190) n'est pas celui d'une vraie valeur qu'on cherche à connaître, mais il s'agit cependant d'un exemple physique. Il s'agit donc d'un usage queteletien de la loi des erreurs appliqué à un raisonnement physique. De plus, la distance entre le point d'atterrissage d'une balle tombant au sol et la valeur moyenne d'atterrissage est paramétrisée par deux variables (l'écart selon x et y de la valeur moyenne), mais doit dépendre uniquement de la distance absolue entre le point d'atterrissage et la valeur moyenne ($r = \sqrt{x^2 + y^2}$). Or cela est vrai sous l'hypothèse que l'écart selon x est indépendant de l'écart selon y (ce serait faux, par exemple, s'il y avait du vent dans une direction donnée), ce que Herschel suppose vrai, à bon escient. Cette hypothèse rappelle celle que Maxwell fera dans son premier article sur l'indépendance des coordonnées x, y, z des particules d'un gaz, hypothèse qui s'avérera dans ce deuxième cas bien moins solide, puisque la balle est isolée et sans contraintes, alors que les particules s'entrechoquent et sont contraintes par l'énergie totale du système.

L'idée de probabilité devait donc être déjà présente à l'esprit de Maxwell (Herschel commentait au fond un traité de théorie de probabilités), mais il n'est pas du tout évident que le mot 'probabilité' eut quoi que ce soit à voir en un premier temps avec indéterminisme ou incertitude. Comme nous l'avons déjà discuté au chapitre 3, il en est même le contraire. S'appuyer sur du raisonnement statistique n'allait pas de pair avec un quelconque reniement du déterminisme, bien au contraire, la régularité des lois des gaz semblait devoir aller de pair avec un déterminisme de fond quant à l'instrument de description.

Le rapport de dépendance entre statistiques et déterminisme, comme nous l'avons déjà discuté dans la section 3.2 était défendu par certains auteurs, dont Henri Thomas Buckle était vu comme le champion. En même temps, le débat faisait rage autour de la compatibilité entre de telles régu-

larités et la possibilité d'un libre arbitre¹.

On peut voir les écrits de Buckle, comme le prolongement de la pensée queteletienne et donc de l'histoire de vie du *thema* mécaniciste en sciences de l'homme; Maxwell, qui se rapprochera au cours de sa réflexion sur la liberté du courant antidéterministe, ne reste pas indifférent à ce genre de considération. Nous avons vu qu'en sciences de l'homme le *thema* mécaniciste rencontre une fière opposition. On peut lire la réaction maxwellienne, qu'on va illustrer par la suite, comme une reprise des arguments qui s'opposent à ce *thema* pour les adapter au discours des physiciens, et contrer donc les idées déterministes qui circulaient parmi eux. Nous allons maintenant tracer un panorama complet de ce débat, de ses enjeux et de son aboutissement en vue d'illustrer et de soutenir notre thèse sur le retour de la vague antimécaniste.

Buckle, dans son premier volume de *History of civilization of England* défendait l'idée que l'histoire procède suivant des lois déterministes, et que cela serait prouvé par les régularités statistiques. Bien qu'il ne soit pas très clair dans quelle mesure Buckle renie l'existence du libre arbitre, c'est probablement dans un sens très étroit qu'il est compris par ses contemporains. Son livre eut un succès important, dépassant les frontières britanniques et relança le débat sur la liberté de l'homme, cette fois vue comme étant en contradiction avec la scientificité de l'histoire².

Maxwell eut l'occasion de lire Buckle avant de se confronter aux problèmes de théorie cinétique des gaz, tout de suite après la publication de *History of civilization of England*. Il travaille à l'époque sur les anneaux de Saturne. Dans une lettre à Campbell, nous pouvons notamment lire

One night I read 160 pages of Buckle's *History of Civilisation* - a bumptious book, strong positivism, emancipation from exploded notions, and that style of thing, but a great deal of actually original matter, the true result of fertile study, and not mere brain-spinning. (Maxwell, 1990, lettre à Campbell, 22 décembre 1857, p. 576-577)

Ce paragraphe suggère un intérêt et même une fascination pour les idées

1. Porter (1986, p. 167) rapporte que Herschel aurait demandé l'avis de Quetelet à propos du discrédit que les affirmations de Buckle sur le libre arbitre amenaient à la statistique, en obtenant en réponse un laconique « trop de rigueur ».

2. Sur la diffusion en Angleterre en Allemagne et en moindre mesure en France et Belgique, voir même aux États-Unis de l'œuvre de Buckle, voir Porter (1986, p.164-169).

de Buckle, mais aussi une certaine défiance envers son 'fort positivisme'³.

Si, comme nous allons le voir, Maxwell était un représentant du mécanisme en ce qui concerne sa pratique des mathématiques et le genre de recherche qu'il menait, on peut donc penser qu'il était mal à l'aise avec les idées 'positivistes' et déterministes qu'on associait à ce genre de démarche (sur ce point voir aussi Porter (1981)). Nous verrons par la suite que cela s'expliquait en partie par ses convictions en matière de religion et de croyance (il existe une vaste bibliographie dédiée aux idées philosophiques et religieuses de Maxwell, une bonne référence reste sa biographie par Campbell et Garnett (1882))⁴.

5.1 Les mathématiques victoriennes, pointe de diamant de la physique mathématique

Avant d'entrer dans le vif du sujet et de discuter le travail de Maxwell sur la théorie cinétique des gaz, nous aimerions le situer dans son contexte historique et social : l'université de Cambridge de l'Angleterre victorienne. En effet, le style de Maxwell, sa façon de réfléchir et de présenter ses papiers, ne peut se comprendre qu'au travers de ce style de pensée et de travail qui était le propre de Cambridge. De plus des nombreux auteurs qu'on rencontrera dans la correspondance, les lettres et l'entourage de Maxwell, nous pensons par exemple à Kelvin, Rayleigh, Tait, étaient issus de la même école et du même sillon de pensée.

Une reconstruction originale de la Cambridge de l'époque a été bien discutée par Warwick (2003) et dépasse le cadre de cette thèse : nous allons donc nous contenter de retracer rapidement un cadre général permettant de situer le travail maxwellien dans son milieu historique⁵

La formation octroyée à Cambridge dans les années 1850-1856, période

3. La locution devrait peut-être se comprendre plutôt comme ce que nous nommons 'scientisme' qu'au sens littéral de positiviste tel que le comprennent les philosophes. Sur la lecture de Buckle par Maxwell voir aussi (Porter, 1981, p. 194-195)

4. Comme le témoigne sa lettre à Litchfield du 5 mars 1858 (Maxwell, 1990, p. 587-590), Maxwell réfléchissait à la question de la liberté et du déterminisme déjà en cette période, un an avant la publication de Clausius sur le libre parcours moyen.

5. Nous renvoyons le lecteur à l'œuvre de Andrew Warwick 'Masters of theory' (Warwick, 2003), tout particulièrement les chapitres 2 et 3 (p. 49-175) et le chapitre 5 (p. 227-286), qui est un travail pionnier sur l'histoire de la pédagogie et du milieu éducatif de Cambridge, un travail unique en son genre à notre connaissance.

de la formation de Maxwell, était d'un très haut niveau, à la pointe de ce qu'on pouvait obtenir en Angleterre, et capable de rivaliser voir de dépasser la qualité de la formation parisienne, l'autre pôle d'excellence des sciences mathématiques et physiques de l'époque. Les étudiants étaient encouragés à s'entraîner aux mathématiques durant de longues heures d'études, mais aussi à une discipline physique et morale rigide. La concurrence et la compétition entre élèves étaient vues comme un outil primaire dans la formation des jeunes esprits. Les critères de validation de la compétence en tant que mathématiciens passait par des examens écrits sur papier (un luxe rare et coûteux pour l'époque) demandant une maîtrise du calcul infinitésimal et de la théorie des équations différentielles, ainsi qu'une excellente connaissance des Principia de Newton et des Elements d'Euclide. Ces examens étaient nommés 'Tripos examinations' ou parfois 'Senate House examination'⁶. Si au début du siècle les Tripos étaient encore oraux, et la connaissance mathématique demandée était relativement modeste, la compétition serrée que le système de Cambridge encourageait avait rapidement amené une croissance exponentielle de la difficulté des épreuves et afin de réussir à se placer au sommet du classement, une distinction convoitée de tout étudiant de Cambridge, les candidats devaient afficher une érudition et une technicité extrêmement élevée pour la résolution de problèmes. Cela n'allait pas de soi à l'époque qui nous concerne. En effet, la forme orale des examens ne permettait pas d'affronter des problèmes hautement techniques. La plupart des connaissances étaient théoriques et les quelques ouvrages disponibles pour l'apprentissage ne prévoyaient pas d'habitude des exercices ou des applications. C'est justement à Cambridge que le mode de travail 'problem-solving' prit forme, notamment grâce à des pratiques d'examen écrites et tournées vers la résolution de problèmes de plus en plus complexes⁷.

6. Nous allons nous y référer simplement comme les 'Tripos'. Dans l'esprit de compétition de l'époque, les étudiants ayant réussi un classement dans le dix meilleurs étaient nommés 'Wranglers', le meilleur étant le Senior Wrangler, suivi du Second Wrangler et ainsi de suite.

7. Un problème typique, proposé par Maxwell lui-même au Tripos de 1873, propose une roue transpercée en son centre par un cylindre, suspendue à trois cordes, une enroulée autour de la roue et les deux autres à chaque extrémité du cylindre. L'étudiant est appelé à déterminer le rapport dans les dimensions de la roue et du cylindre pour que lorsque la corde du milieu est enroulée ou déroulée, la tension dans les autres deux cordes ne change pas. Un tel problème nécessite une excellente connaissance de la mécanique, surtout si on considère que le temps estimé de solution pour les bons candidats était pour un tel problème d'environ

Le travail de préparation à ces examens demandait plusieurs années de formation, d'habitude sous l'égide d'un 'private tutor'⁸ ; Maxwell avait bénéficié de la supervision de Hopkins, l'un des meilleurs formateurs de Cambridge, qui fut aussi le maître de Tait, Kelvin, Todhunter, Galton, Stokes, et Routh, une génération de mathématiciens hors pair. Routh deviendra à son tour un *coach* de succès, et un mathématicien capable de reléguer Maxwell lui-même à la position de "Second Wrangler". Une telle proximité de formation à la fois sous la forme d'une même pédagogie et d'examens très particuliers pour les standards de l'époque, conjointement à un climat hautement compétitif qui, toute considération pédagogique mise à part, encourageait le travail dirigé par des *tutors*, contribua à changer la forme des examens et de l'enseignement même, en faisant de Cambridge un lieu de pratique mathématique tout à fait particulier.

Mais ce penchant pour le problem-solving contribua aussi à un mode de pratiquer la recherche assurément originale. Ce mode de raisonnement menait les étudiants de Cambridge à penser la recherche comme une série de problèmes à résoudre ; s'il est clair qu'un nouveau sujet de recherche ne se présente pas spontanément comme une série de problèmes prêts à être résolus, c'était sur cette forme que les anciens étudiants de Cambridge avaient appris à appréhender le monde. Ce qui comptait comme une connaissance scientifique légitime était ce genre de problèmes, demandant une virtuosité mathématique remarquable, mais qu'un diplômé de Cambridge savait résoudre. Dès lors, la recherche se ramenait à transformer un problème réel sous la forme des questions mathématiques des Tripos à laquelle ils avaient été éduqués. A ce propos, Warwick (2003, p. 274) rapporte l'entête du journal *Oxford, Cambridge and Dublin Messenger of Mathematics* qui affirmait « [the] highest mathematical operation is the reduction of the elements of a problem to mathematical language, and the expression of its conditions in equations ». C'est donc dans cette lignée qui s'inscrit Maxwell : de transformation et réduction de tout problème physique à la forme mathématique,

10 minutes. La solution proposée par Garnett, l'un des meilleurs élèves ayant répondu de façon satisfaisante (solution reproduite par Warwick (2003, p. 165)) avec un succès partiel illustre bien à notre sens la technicité atteinte par les étudiants de Cambridge.

8. Le terme de *coach* ou de *private tutor* était utilisé pour indiquer ces personnes, parfois des mathématiciens de très grande renommée tels que Hopkins ou Routh, qui octroyaient des cours à titre privé aux étudiants de Cambridge, un service qui deviendra rapidement indispensable pour tout étudiant voulant réussir dans la compétition serrée encouragée par l'école.

analoguement à la méthodologie de travail des Tripos de Cambridge.

5.2 Thermodynamique et réductionnisme dans la pensée de Maxwell

Dans cette section nous allons reconstruire l'approche de Maxwell à la thermodynamique et à la réversibilité avant qu'il parvienne à s'interroger au moyen de son démon. Nous aimerions montrer que Maxwell s'inscrit dans le programme mécaniciste et dans l'école mathématique de Cambridge⁹. L'article de 1860 par lequel il entreprend ses véritables recherches sur la théorie cinétique propose une dérivation de la distribution des vitesses qui s'inscrit dans le paradigme réductionniste.

Nous avons déjà mentionné que Maxwell avait été attiré par les statistiques grâce aux travaux de Quetelet commentés par Herschel. Nous avons vu au chapitre 3 que la gaussienne était d'habitude comprise comme une série d'erreurs dans la mesure d'une 'vraie valeur' et que c'est Quetelet qui introduit une compréhension de la gaussienne comme une dispersion des vraies valeurs autour d'une idée de moyenne qui est celle de 'l'homme moyen'. Au travers de la filiation Quetelet - Herschel, Maxwell comprendra la distribution des vitesses des molécules comme une distribution autour d'une moyenne qui ne représentait en soi aucun 'vrai' objet, mais qui s'interprétera ensuite comme la température du gaz. La loi des erreurs était donc un instrument tout prêt et disponible à l'usage pour Maxwell, qui devait trouver normal de la retrouver comme résultat d'une distribution. Il suivait par analogie l'image avancée par Quetelet, mais aussi la dérivation de la loi des erreurs obtenue par Herschel (1850, p. 190) suivant ses trois hypothèses, soit que i) les phénomènes observés sont indépendants deux à deux (c'est-à-dire que $p(a \wedge b) = p(a)p(b)$) ii) que les erreurs et la probabilité de les commettre sont reliées par une loi (toujours la même) qui fait que plus grand est l'erreur et plus petite est la probabilité, d'où Herschel déduit qu'on en sait autant sur ce qui cause chacun des événements iii) une série de phénomènes se rangent suivant une distribution qui ne dépend que du

9. Cette affirmation n'est pas entièrement originale ; nous sommes tout particulièrement redevables à Brush (1976b), notamment les chapitres 10.3 et 14.1 – 14.4 dudit ouvrage ; nous allons néanmoins dégager de ces chapitres des informations et une interprétation que l'auteur ne partage pas forcément, et dont nous sommes entièrement responsables.

carré de l'erreur', ce qui revient à dire (selon Herschel) que la fonction de distribution est paire¹⁰. Suivant ces hypothèses la distribution que l'on trouve est gaussienne. Nous verrons maintenant que tout en retrouvant sa propre dérivation, Maxwell reste très proche des hypothèses de Herschel, ce qui le conduira à l'erreur.

L'introduction des statistiques en physique par Maxwell date de 1859¹¹. À cette époque, Maxwell ne pense pas le comportement moléculaire comme incertain, irrégulier ou même irréversible, et bien que les mots "probable" et "probability" apparaissent à la proposition 2, conformément à l'interprétation de Quetelet (voir notre discussion au chapitre 3), les statistiques allaient de pair avec un certain déterminisme. L'article de 1860 est un exemple du style des mathématiques de Cambridge de l'époque : une série de plusieurs 'problèmes mathématiques' concernant les chocs entre molécules. Malgré le sujet commun, ils apparaissent comme relativement décousus les uns par rapport aux autres. Le quatrième de ces problèmes est celui qui nous intéresse ici : Maxwell essaie de montrer que la distribution des vitesses suit une distribution gaussienne suivant chacun des trois axes des coordonnées¹².

L'impression qui découle de la lecture, c'est que Maxwell s'évertue, par un virtuosisme mathématique certes impressionnant, à prouver une certaine propriété physico-mathématique qui découle de quelques hypothèses bien choisies (et qui sont fondamentalement celles de Herschel).

Une des hypothèses cruciales afin de pouvoir obtenir la distribution des vitesses de Maxwell est de supposer que les directions du mouvement des atomes sont équiprobables¹³, ce que Maxwell postule. Il est vrai qu'il essaie de justifier cela comme une conséquence du grand nombre de collisions qu'elles subissent (Maxwell s'occupe de calculer cela à la proposition 2), mais aucun usage explicite des résultats des sections précédentes n'est fait

10. L'hypothèse qu'une fonction paire est forcément une fonction qui ne dépend que du carré de la variable est inexacte, il suffit de prendre l'exemple $y = \cos(x)$. L'affirmation d'Herschel est correcte dans la mesure où l'on considère le développement de Taylor d'une fonction centrée à l'origine et dérivable, ce qui semble sous-entendu dans son texte.

11. L'article fut publié en 1859 par la British Association for the advancement of science (Maxwell, 1990, Report of the British Association, p. 615-616) et en 1860 par le Philosophical magazine ; c'est cette deuxième version que nous citons.

12. Nous proposons en annexe B un aperçu des questions physiques qui sont abordées ici, notamment la notion d'équilibre thermodynamique, d'entropie, de réversibilité temporelle et de cycle de Poincaré, illustrées au travers d'une expérience de pensée célèbre, l'anneau de Kac. Nous renvoyons donc le lecteur à l'annexe pour plus de détails techniques.

13. C'est-à-dire que la probabilité va dépendre seulement de la distance à l'origine $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$, une fonction du carré des variables x , y et z

dans la dérivation de la loi des erreurs. Maxwell se contente d'affirmer que chaque composante de la vitesse de chaque particule est indépendante des autres, puisqu'elles sont perpendiculaires, et donc qu'elles n'ont aucune influence l'une sur l'autre. Suivant cette hypothèse, Maxwell propose dans son article de 1860¹⁴ de considérer un ensemble N de particules, avec les composantes des vitesses dans les trois directions (on note x , y et z les composantes des vitesses). Si on note $Nf(x)dx$ les particules dont la vitesse est comprise entre x et $x + dx$ avec $f(x)$ une fonction qui dépend de x et de même pour les autres directions $Nf(y)dy$ et $Nf(z)dz$ Maxwell nous dit que

Now the existence of the velocity x does not in any way affect that of the velocities y or z , since these are all at right angles to each other and independent, so that the number of particles whose velocity lies between x and $x + dx$ and also between y and $y + dy$ and also between z and $z + dz$ is

$$Nf(x)f(y)f(z)dx dy dz$$

If we suppose the N particles to start from the origin at the same instant, then this will be the number in the element of volume (dx, dy, dz) after unit of time, and the number referred to unit of volume will be

$$Nf(x)f(y)f(z)$$

But the directions of the coordinates are perfectly arbitrary, and therefore this number must depend on the distance from the origin alone, that is

$$f(x)f(y)f(z) = \Phi(x^2 + y^2 + z^2)$$

(Maxwell, 1860, p. 22-23, nous soulignons)

Maxwell imagine que toutes les particules partent d'un même point ('the origin') avec des vitesses parfaitement arbitraires et équiprobables dans toutes les directions. Ainsi, après une unité de temps elles se trouveront à une distance du point d'origine égale à leur vitesse. Le nombre de particules

14. Ce même article est cité par Brush (1976b), p. 186-187.

dans un petit volume (dx, dy, dz) , sous l'hypothèse que les vitesses initiales sont arbitraires, peut ne pas dépendre de l'angle, mais seulement de la distance à parcourir soit d'une fonction $\Phi(x^2 + y^2 + z^2)$. Comme Maxwell le remarque, la solution de cette fonctionnelle nous donne la distribution gaussienne qui porte le nom de son découvreur, soit $f(x) = Ce^{Ax^2}$, $f(y) = Ce^{Ay^2}$, $f(z) = Ce^{Az^2}$ et $\Phi(r^2) = C^3 e^{Ar^2}$ ¹⁵.

L'hypothèse d'indépendance des composantes de la vitesse sera sujette à révision de la part de Maxwell, est c'est à juste titre.

Dans son article de 1867 *On the dynamical theory of gases*, Maxwell reconnaît la précarité de l'hypothèse des composantes de la vitesse indépendantes (p. 62). Ce nouvel article est aussi écrit dans un style différent de celui de 1860 ; Maxwell se soucie en 1867 de retrouver par des modèles physiques certaines propriétés dont la valeur est connue expérimentalement ainsi que d'en déterminer des nouvelles. Le focus est donc plus éminemment physique, en opposition avec le papier de 1860 qui était clairement orienté vers un exercice de style de physique mathématique, les questions physiques n'y jouant qu'un rôle marginal. C'est aussi un papier dont la cohérence d'ensemble est assurée par l'intérêt physique plutôt que par un choix d'hypothèses mathématiques.

Maxwell y propose de considérer comme indépendante la vitesse de chaque couple de molécules plutôt que celle des composantes. Supposant que deux molécules aient une vitesse a et b avant une collision, et a' et b' après la collision, Maxwell postule que le nombre de collisions qui font passer deux particules des vitesses (a, b) aux vitesses (a', b') est le même que celui qui opère le changement opposé (on est donc à l'équilibre). Sous l'hypothèse de conservation de l'énergie lors d'un choc entre particules et de celle d'égal nombre de chocs passant de (a, b) à (a', b') , Maxwell dérive alors une distribution gaussienne. Le résultat ainsi obtenu montre selon Maxwell que la distribution gaussienne est une distribution stable, c'est-à-dire un état qu'une fois atteint va demeurer identique à soi même dans le

15. Qu'une des solutions de cette équation fonctionnelle soit effectivement celle proposée par Maxwell peut se vérifier trivialement par substitution. Que ce soit la seule solution, et comment y parvenir est un problème bien moins trivial. Maxwell ne nous donne aucune information sur sa méthode de résolution, mais comme nous l'avons dit, la distribution gaussienne devait lui paraître la solution 'naturelle' à chercher. Banach et Ruziewicz (1922) montrent comment ramener, sous des conditions particulières, l'équation fonctionnelle de Maxwell à une équation de Cauchy de la forme $g(a) + g(b) + g(c) = g(a + b + c)$ qui a comme solution la fonction Ca . Il est alors possible de venir à bout du problème.

temps (Maxwell pense pouvoir montrer aussi que c'est la seule distribution stable). Cependant, il ne montre pas qu'un tel état va effectivement être l'aboutissement nécessaire d'une distribution quelconque des vitesses initiales. Maxwell remarque (p. 64) qu'il faut un grand nombre de chocs entre molécules pour y parvenir, mais ne va pas au-delà de cette remarque.

S'il y a une évolution stylistique importante entre les deux papiers, ainsi qu'un déplacement du focus vers une forme de questionnement plus éminemment physique, il est aussi vrai que les deux articles partagent une image des molécules/atomes qui possèdent des vitesses et qui obéissent à un dynamique déterministe. L'article de 1860 n'utilise que très implicitement les lois du mouvement des molécules (il doit quand même supposer un mouvement rectiligne uniforme pour des particules à vitesse constante), alors que le deuxième papier accentue le caractère déterministe en recourant à davantage de physique au détriment d'un traitement purement mathématique. Une telle attitude déterministe n'est pas vraiment surprenante, mais nous verrons que la pensée de Maxwell évoluera sur ce point, et qu'il arrivera par moment à reconsidérer son hypothèse déterministe.

5.3 Le démon de Maxwell : un laboratoire de pensée

L'étude statistique permet de s'intéresser à des vitesses moyennes et à la distribution statistique de ces vitesses. En particulier, la vitesse moyenne des particules d'un gaz est reliée à sa température et la distribution des vitesses (en une dimension) suit une distribution gaussienne (une 'loi des erreurs' dans le langage de l'époque). De regarder des moyennes sur un ensemble de particules, donc une sorte de 'particule moyenne' dont l'existence est purement fictive, relève d'une vision queteletienne de la loi des erreurs, bien que ce soit probablement à l'insu de Maxwell. La moyenne de la vitesse ne correspond pas à un objet 'vrai' du monde : la vérité du monde ce sont les particules, chacune avec sa vitesse. La 'particule moyenne' dont la vitesse correspond à la température n'est plus qu'un nom pour un objet virtuel issu du traitement statistique. La particule moyenne n'existe pas, tout comme l'homme moyen : le poids ontologique repose entièrement sur le plan microscopique.

C'est au cours des années entre sa première publication et l'introduction de son 'démon' qu'il prend conscience, probablement suite à des confé-

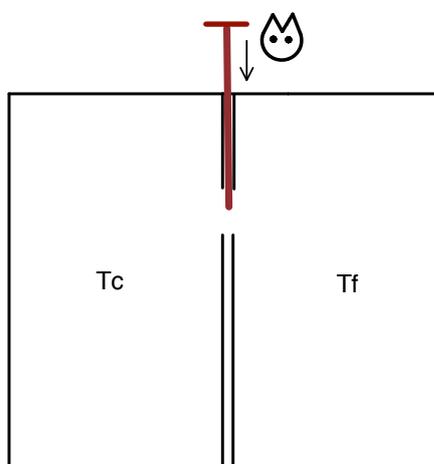


FIGURE 5.1 – Le démon de Maxwell contrôle le passage des particules de l'enceinte chaude à l'enceinte froide et vice-versa

rences grand public de Tyndall et Huxley qui questionnaient le droit de l'église à interférer avec le travail scientifique, de la difficulté que cette vision 'déterministe' des statistiques implique. Dans leurs tentatives de revendiquer une indépendance absolue de la science par rapport à la foi, Tyndall et Huxley avaient à maintes reprises affirmé l'incompatibilité entre la théologie et la science. La question du libre arbitre avait surgi dans le contexte de ce débat (Porter, 1986, p. 194-208). De son côté Maxwell, un chrétien dévoué, avait du mal à accepter de tels arguments, dans la mesure où ses propres travaux se prêtaient facilement à des interprétations de ce genre.

Le changement de perspective devient possible grâce à l'expérience de pensée connue sous le nom de 'démon de Maxwell'¹⁶.

Maxwell conçoit l'expérience suivante : soit deux enceintes remplies de gaz à deux températures différentes, T_c et T_f , avec $T_c > T_f$. Les deux enceintes sont en contact, mais parfaitement isolées thermiquement (elles ne dispersent pas leur chaleur et ne se transmettent pas leur chaleur, voir figure 5.1).

Entre les deux enceintes, il y a une cloison contrôlée par notre démon,

16. Le mot démon ne fut pas choisi par Maxwell, qui exprima d'ailleurs son dissentiment par rapport à ce choix, mais par Lord Kelvin (voir la note de Harman dans (Maxwell, 1995, p. 332)). Maxwell se réfère toujours à un 'finite being' (Maxwell, 1995, Lettre à Peter Guthrie Tait, décembre 1867, p. 332, Lettre à John William Strutt, décembre 1870, p. 582).

qui peut à son gré lever la cloison (sans effectuer de travail, supposons que la cloison soit infiniment légère) pour faire passer des molécules dans un sens ou dans l'autre. L'idée est la suivante : si le démon possède une connaissance précise de la vitesse des molécules individuellement, il peut lever la cloison lorsqu'une particule lente qui se trouve dans l'enceinte chaude, ou bien une particule rapide qui se trouve dans l'enceinte froide frappe à l'endroit où la cloison se trouve. De cette façon, le démon peut faire passer de la chaleur de la source froide à la source chaude sans effectuer de travail, et il viole donc le deuxième principe de la thermodynamique.

L'idée de Maxwell au moment de la formulation du démon est de montrer la nature statistique, du deuxième principe :

[...]the second law of thermodynamics [...] is undoubtedly true as long as we can deal with bodies only in mass and have no power of perceiving or handling the separate molecules of which they are made up. [...] (Maxwell, 1995, Appendix from the manuscript of the theory of heat, 1870)

Cependant, l'expérience du démon permet de conclure que

[...]the second law of thermodynamics is no longer true if we suppose an intelligent and active being able to perform the operations with the sliding piece which we have just described (ibid.)

Le démon permet donc de violer le deuxième principe de la thermodynamique (dans la formulation de Clausius), soit que la chaleur ne peut jamais passer spontanément d'une source froide vers une source chaude.

La morale de l'expérience du démon de Maxwell est selon Maxwell lui-même que

The 2nd law of Thermodynamics has the same degree of truth as the statement that if you throw a tumblerful of water into the sea you cannot get the same tumblerful of water out again (Maxwell, 1995, Lettre à John William Strutt, décembre 1870, p. 583)

c'est-à-dire que c'est une loi statistique ; elle affirme que bien qu'on n'ait jamais observé la chaleur passer du chaud au froid, cela n'est pas absolument impossible pour quelqu'un possédant la connaissance nécessaire. Il en sort une conception de 'statistique' moderne, bien qu'on doive un peu

forcer la main à Maxwell pour la voir : une loi statistique est une loi qui n'est que probable, par opposition à une loi déterministe. Cette affirmation sur la probabilité ne ressort pas encore clairement dans les communications de 1870. Au cours des années qui suivront, elle amènera Maxwell à une position de plus en plus agnostique sur le déterminisme microscopique et sur la signification à accorder aux régularités macroscopiques.

L'expérience du démon peut se lire comme le triomphe d'une vision déterministe du mouvement atomique : plutôt que d'abandonner l'image déterministe des molécules, Maxwell renonce à donner au deuxième principe une validité absolue. Au contraire, il se pourrait que parfois le deuxième principe soit violé, suivant le caprice du mouvement atomique. Mais le démon peut signifier aussi une autre chose : puisque de fait le deuxième principe n'est jamais violé, et il se pourrait alors que l'image déterministe, qui est nécessaire au démon pour accomplir son action perturbatrice, soit fautive. Cette deuxième interprétation qui penche vers un indéterminisme ontologique ne prendra jamais véritablement une forme claire chez Maxwell ; on peut cependant deviner de telles hésitations par moments, suivant la formulation qu'il choisit de temps à autre. Supposons en effet que les molécules n'aient pas de vitesses ni de positions newtoniennes, et que donc dans un certain sens l'irrégularité de leurs mouvements soit irréductible. Si le monde était ontologiquement régi par des phénomènes irréguliers, alors on pourrait tout de même retrouver le deuxième principe à grande échelle, car peu importe que la nature de la probabilité soit épistémique ou ontologique pour que la régularité à grande échelle soit réalisée. Cependant dans ce deuxième cas, le démon serait empêché dans son action perturbatrice, et la nature statistique du deuxième principe deviendrait absolue : l'irrégularité microscopique assurerait l'inviolabilité du deuxième principe.

La position de Maxwell sur la question n'est pas clairement tranchée et oscille au cours du temps : dans un premier temps, il demeure un déterministe ; l'hypothèse de l'indépendance des vitesses dans son article de 1867 n'est pour lui qu'un moyen de contourner notre incapacité de connaître le détail du mouvement moléculaire, c'est-à-dire que le probable reflète notre ignorance : faute de suivre l'histoire singulière de chaque particule on postule qu'elles sont chacune indépendante de l'autre.

Néanmoins, ses idées semblent changer progressivement et vers 1873, date de la publication de « On molecules » on peut trouver des suggestions

moins explicites. Dans le Draft de la Lecture, on peut lire notamment

We thus meet a new kind of regularity - the regularity of averages - a regularity which when we are dealing with millions of millions of individuals is so unvarying that we are almost in danger of confounding it with absolute uniformity.

Laplace in his theory of Probability has given many examples of this kind of statistical regularity and has shown how this regularity *is consistent with the utmost irregularity among the individual instances* which are enumerated in making the results. In the hands of Mr Buckle facts of the same kind were brought forward as instances of the unalterable character of natural laws. But the stability of the averages of large numbers of variable events must be carefully distinguished from that absolute uniformity of sequence according to which we suppose that every individual event is determined by its antecedents (Maxwell, 1995, Draft de 'On molecules' *circa* août-septembre 1873 p. 922-933, nous soulignons).

Si d'un côté Maxwell reconnaît l'impossibilité de relier le déterminisme macroscopique (au sens d'existence de lois physiques) avec un pareil déterminisme microscopique, de l'autre il ne s'exprime pas explicitement sur la nature réelle du monde microscopique. Que l'indéterminisme soit apparent ou réel, il est possible de retrouver une régularité des moyennes : on est donc en face d'un agnosticisme sur la question du déterminisme microscopique.

À l'occasion d'une réunion de l'Eranus Club¹⁷, Maxwell présent un *Essay* sur la science et le libre arbitre (Maxwell, 1995, Essay for the Eranus Club on science and Free Will, 11.2.1873, p. 814-823) dans lequel il défend la possibilité de l'existence d'un libre arbitre de façon parallèle et compatible avec l'atomisme et les régularités statistiques. Maxwell affirme qu'il existe deux types de connaissance, qu'il appelle 'dynamique' et 'statistique'. La méthode dynamique suit des individus pris singulièrement, et s'intéresse à leur cheminement dans le détail¹⁸. La méthode statistique observe des indi-

17. L' Eranus Club, selon P.M. Harman, éditeur, des *Scientific letters and papers* de Maxwell, était le nom sous lequel se réunissaient les 'apôtres' de Cambridge (note p. 814), une société secrète dédiée à la discussion de sujets érudits. Il vaut peut être la peine de mentionner au passage qu'à l'époque de la fréquentation de Maxwell, Henry Sidgwick était membre du groupe.

18. They observe individual men, ascertain their history, analyse their motives, and com-

vidus groupés selon des caractéristiques communes, alors que la méthode dynamique s'intéresse à chaque individu pris singulièrement. Or,

If we betake ourselves to the statistical method, we do so confessing that we are unable to follow the details of each individual case, and expecting that the effects of widespread causes, though very different in each individual, will produce an average result on the whole nation, from a study of which we may estimate the character and propensities of an imaginary being called the Mean Man.

Now if the molecular theory of the constitution of bodies is true, all our knowledge of matter is of the statistical kind. (Maxwell, 1995, *Essay on science and free will*, 11.2.1873, p. 818)

C'est-à-dire que nous ne connaissons le monde atomique que par ses valeurs moyennes et ses distributions, et nous sommes incapables de dire ce qui s'y passe exactement.

Maxwell distingue deux genres de connaissances physiques d'une nature très diverse. Or, nous dit Maxwell, cette diversité peut être éclaircie par une analyse de détail d'un autre aspect de la dynamique, la stabilité :

When the state of things is such that an infinitely small variation of the present state will alter only by an infinitely small quantity the state of some future time, the condition of the system, whether at rest or in motion, is said to be stable; but when an infinitely small variation in the present state may bring about a finite difference in the state of the system in a finite time, the condition of the system is said to be unstable. [...] physical stability is the characteristic of those systems from the contemplation of which determinists draw their arguments, and physical instability that of those living bodies, and moral instability that of those developable souls, which furnish to consciousness the conviction of free will. (Maxwell, 1995, *ibid.* p. 819)

Ici, un système qui peut être radicalement changé par l'effet de très petites causes, ce que Maxwell appelle un système instable, est vu comme une

pare their expectation of what they will do with their actual conduct. This may be called the dynamical method of study as applied to man. However imperfect the dynamical study of man may be in practice, it evidently is the only perfect method in principle [...] (*ibid.*).

échappatoire possible au problème du déterminisme, une solution permettant de ne pas s'exprimer sur la vérité du déterminisme.

Finalement, quelques paragraphes plus tard

It is a metaphysical doctrine that from the same antecedents follows the same consequents. No one can gainsay this. But it is not of much use in a world like this, in which the same antecedents never again concur, and nothing ever happens twice. [...] The physical axiom which has a somewhat similar aspect is 'That from like antecedents follow like consequents'. But here we have passed from sameness to likeness, from absolute accuracy to more or less rough approximation. There are certain classes of phenomena, as I have said, in which a small error in the data only introduces a small error in the result. [...]

There are other classes of phenomena which are more complicated, and in which cases of instability may occur, [...](Maxwell, 1995, *ibid.* p. 821)

Maxwell opère ici un saut conceptuel intéressant ; il accepte le principe du déterminisme au sens de 'même cause, même effet', ce qui est un mode de pensée dont un scientifique ne peut que très difficilement se défaire. En même temps, Maxwell remarque que l'identité parfaite de conditions initiales, elle n'existe que dans l'esprit du scientifique : dans le monde naturel, elle n'a jamais lieu d'être. Ainsi, il est possible d'observer deux classes de phénomènes ; les uns sont stables, et donnent lieu à des croyances déterministes, les autres sont instables, et font plutôt pencher vers un agnosticisme sur la question du déterminisme.

Si la métaphore originale des molécules/individus est toujours présente, Maxwell est en train de renverser les rôles. L'idée des molécules en grande quantité dont on néglige le comportement individuel, c'est-à-dire la méthode statistique, permet de retrouver de l'ordre à grande échelle. Grâce aux moyennes calculées sur des comportements individuels pourtant caractérisés par la plus grande diversité, Maxwell arrive à renverser l'argument : ayant montré dans son texte un cas possible dans lequel le 'comportement agrégé' peut être radicalement différent au niveau macroscopique et microscopique, en étant une fois parfaitement régulier une fois complètement imprévisible, de même la régularité sociale ne permet pas de conclure contre la liberté individuelle ni de tirer de conclusion en sa défaveur.

Nous avons discuté deux questions qui apparaissent chez Maxwell, l'une concernant l'instabilité, dont il parle dans son *Essay*, l'autre concernant la nature statistique du deuxième principe et l'expérience du démon. Il n'y a pas de rapport évident entre ces deux situations, mais nous pouvons avancer une conjecture reliant ces deux problèmes : dans les deux cas on engendre un grand changement, sans aucune (ou par une très petite) dépense d'énergie.

Or, le démon n'est pas exactement un cas d'instabilité, mais plutôt d'usage d'une connaissance complète du monde : on pourrait même penser que le démon serait incompatible avec de l'instabilité : en effet il a besoin pour opérer de pouvoir prédire et calculer le comportement moléculaire, ce qu'une instabilité trop grande rendrait impossible. Cependant, Maxwell relie l'action du démon avec une métaphore curieuse, celle d'un 'pointsman', un agent des chemins de fer agissant sur des leviers qui peut ainsi choisir la direction des trains. En effet dans la lettre à Strutt qui présente la métaphore du démon, Maxwell compare son « finite being » avec un « pointsman on railway with perfectly acting switches who should send the express along one line and the goods along another (Maxwell, 1995, Lettre à John William Strutt, décembre 1870, p. 583) ».

Maxwell avait déjà utilisé cette métaphore dans un contexte bien différent : dans une lettre à Campbell (Maxwell, 1990, 21 avril 1862, p. 711-712), Maxwell affirme que

There is action and reaction between body and soul, but it is not of a kind in which energy passes from the one to the other, - as when a man pulls a trigger it is the gunpowder that projects the bullet, or when a pointsman shunts a train it is the rails that bear the thrust. (ibid. p. 712)

On voit qu'ici la métaphore du 'pointsman', qui apparaît pour la première fois, est associée à des questions d'action de l'âme sur le corps (et donc reliée à la question du libre arbitre), mais aussi à l'instabilité, comme l'exemple du pistolet le montre bien. Le pointsman est un acteur qui en dépensant une très petite quantité d'énergie peut accomplir des actions importantes (par la médiation d'un dispositif technique), mais c'est aussi un agent faisant usage de son libre arbitre.

Mais dans quelle mesure est-elle reliée au démon ? La métaphore du 'pointsman', que Maxwell utilise à d'autres occasions (Stanley, 2008) sug-

gère en effet un rapport entre le démon et la sensibilité aux conditions initiales, puisque ce que le démon fait est au fond une petite action ayant des conséquences très importantes. Le démon, comme le pointsman, doit gérer une connaissance détaillée de son environnement et prendre des décisions rapides, précises et aux conséquences cruciales.

L'intérêt pour l'instabilité de Maxwell date d'avant ses premiers papiers sur la théorie des gaz ; il avait notamment travaillé sur les anneaux de Saturne, pour un mémoire qui lui valut le prix Adams en 1857 *On the stability of the motion of Saturn's rings* (Maxwell, 1990, p. 438-479). Maxwell s'intéresse dans ce mémoire de stabilité pour la première fois ; Harman (1992) nous informe d'une connexion entre ses réflexions sur le problème des anneaux et ses premiers intérêts pour la théorie cinétique des gaz.

Stanley (2008) suggère que Maxwell devait avoir à l'esprit une ébauche de conciliation possible entre les sciences mécaniques, avec l'incontournable problème de la conservation de l'énergie, et la métaphore du pointsman. Notamment, il fallait à un tel agent une quantité infime d'énergie pour engendrer des effets, et il ressemblait donc en cela à l'action que l'âme aurait pu avoir sur le corps. Une quantité infime n'est pourtant pas une quantité nulle, et Maxwell ne se contentera pas de cette intuition : comme nous le verrons, il parviendra vers la fin de sa vie à s'intéresser à des cas particuliers, développés par Boussinesq, où l'énergie nécessaire devient strictement nulle. Néanmoins, l'action du démon est aussi en quelques sortes une action qui nécessite une énergie nulle : le démon exploite, au lieu de l'énergie, sa connaissance du système.

Le passage dans la lettre à Campbell, qui contient pour la première fois une référence au pointsman, continue quelques lignes en illustrant l'intérêt de Maxwell pour la théorie des gaz. Encore une fois donc l'instabilité et le mouvement des molécules d'un gaz sont étroitement reliés.

Un autre point de contact possible est représenté par le débat sur la réversibilité dans le temps, l'argument qui par la suite sera connu comme le paradoxe de Loschmidt. Maxwell avait à ce propos participé aux débats avec Tait et Kelvin sur la nature statistique du deuxième principe (Brush, 1976b, p. 83). Ces discussions aboutirent à un papier signé par Thomson (1874), contenant une référence assez sibylline sur l'impossibilité de la réversion chez les vivants. L'année suivante, de façon indépendante, Philippe Breton, un ingénieur français dont nous parlerons au chapitre suivant, publia un

ouvrage sur la réversibilité qui reliait celle-ci au débat sur le libre arbitre. Nous savons que Maxwell le lira, puisqu'il le cite dans sa correspondance (on y reviendra par la suite). Il y a donc des ralliements entre l'image du démon et la question du libre arbitre, dans notre dernier cas au travers de la question de la réversibilité.

Mille indices ne font pas une preuve, mais on peut se demander si Maxwell ne voyait pas une connexion entre les trois thèmes de la stabilité, du démon et du libre arbitre, qui justifie la présence d'une même métaphore récurrente (le *pointsman*) dans ces trois contextes.

Quoiqu'il en soit, la question de l'instabilité que nous pensons timidement rattachée à celle du démon est certainement reliée à celle de la liberté, comme la suite de l'intervention à l'Eranus Club le montre.

If, therefore, those cultivators of physical science from whom the intelligent public deduce their conception of the physicist, and whose style is recognized as marking with a scientific stamp the doctrines they promulgate, are led in pursuit of the arcana of science to the study of the singularities and instabilities, rather than the continuities and stabilities of things, the promotion of natural knowledge may tend to remove that prejudice in favour of determinism which seems to arise from assuming that the physical science of the future is a mere magnified image of that of the past. (Maxwell, 1995, *Essay on science and free will*, 11.2.1873, p. 823)

Nous pouvons comprendre de deux façons la pensée de Maxwell : une, qui est peut-être celle qui vient plus facilement à l'esprit, c'est qu'il distingue un niveau ontologique, dans lequel règne le déterminisme ('No one can gainsay this. '), et un niveau épistémologique qui est celui auquel notre observation peut accéder. Le déterminisme serait alors une doctrine métaphysique (*metaphysical doctrine*) dont personne ne doute (mais pourquoi ?), cependant ce qu'on connaît du monde n'a qu'une nature statistique, et il est impossible d'en dire plus. Une telle interprétation nous paraît pourtant douteuse. Elle n'explique pas la raison qui justifie la doctrine métaphysique du déterminisme, et ne sert pas tellement à la cause maxwellienne : le monde serait en effet entièrement déterministe sans que nous puissions le prouver en toute rigueur. Nous pouvons cependant comprendre Maxwell d'une deuxième façon, qui nous semble plus appropriée : ce que Maxwell

dit c'est que le déterminisme est une doctrine métaphysique incontournable, au sens où elle est nécessaire au scientifique pour pouvoir penser sa propre démarche. C'est en ce sens qu'il faut comprendre le mot 'doctrine'. Cependant, le monde empirique, qui est au fond le seul interlocuteur possible du scientifique, ne présente jamais la possibilité de tester cette doctrine au pied de la lettre. Il permet tout au plus de tester une hypothèse moins restrictive, celle de la ressemblance (*likeness*). Or, ce qu'on découvre sous cette hypothèse c'est que certains phénomènes sont stables et d'autres pas : il existe donc une partie du monde qui n'est pas régie par des lois dont on peut affirmer qu'elles sont déterministes. On ne peut pas non plus affirmer le contraire, mais Maxwell semble ici plaider pour une neutralité ontologique sur la question du déterminisme et a fortiori de la liberté. La connaissance scientifique ne permet pas de tester l'hypothèse déterministe au sens strict (de l'identité), elle ne permet de tester que sa version faible, celle de la ressemblance, et dans ce cas elle se révèle fautive. Or Maxwell se demande implicitement d'où est alors venue l'idée du déterminisme qui semble dominer en science, et il se dit qu'elle vient d'un biais qui a favorisé l'étude des phénomènes stables ; si ce biais était enlevé, on enlèverait aussi la conviction en la doctrine métaphysique du déterminisme.

Maxwell semble donc affirmer que le déterminisme n'est pas tellement une conséquence de notre connaissance scientifique grandissante, mais plutôt une attitude biaisée en faveur d'un certain type d'étude, une prédilection pour la stabilité et la continuité.

Dans les années à suivre, l'attitude de Maxwell, suivant ce que dit Brush, virera encore plus en faveur d'un indéterminisme microscopique. Brush (1976b, p. 592) cite un extrait de la 'lecture for the Chemical Society' de 1875 dans laquelle Maxwell s'exprime de la sorte

The peculiarity of the motion called heat is that it is perfectly irregular ; that is to say, that the direction and magnitude of the velocity of a molecule at a given time cannot be expressed as depending on the present position of the molecule and the time (ibid.)

L'usage du mot 'irregular' et de sa définition semble suggérer que Maxwell penche ici pour une interprétation indéterministe. Par comparaison, un autre usage du mot 'irregular', dans un brouillon de 'On molecules' affirme que

Every molecule changes both its velocity and its direction of motion at every encounter so that unless we are supposed to be able to calculate the elements of the motion of every other molecule which it encounters these changes of motion must appear to us very irregular if we follow the course of a single molecule. (Maxwell, 1995, Draft de 'On molecules', 1873, p. 931, 1873)

Si dans cette citation Maxwell parle d'irrégularité au sens épistémique, la citation de 1875 nous semble pencher vers une idée plutôt ontologique de l'irrégularité.

D'autres usages du mot irrégulier pour décrire le mouvement moléculaire peuvent être trouvés chez Maxwell, par exemple dans l'article 'Diffusion', écrit pour l'encyclopédie *Britannica* (Maxwell, 1878a). Maxwell y fait référence à l'agitation des particules « exceedingly irregular (ibid. p. 215) ». Cependant dans le même article il réfléchit sur le rapport entre dissipation de l'énergie et connaissance d'un système.

Dissipated energy is energy which we cannot lay hold of and direct at pleasure, such as the energy of the confused agitation of molecules which we call heat. Now, confusion, like the correlative term order, is not a property of material things themselves, but only in relation to the mind which perceives them. (ibid. p. 20)

Comme Brush (1976b) le remarque, nous avons là une belle anticipation de la théorie de l'information, mais aussi un retour à une idée de l'irrégularité plus épistémique ; on dirait que les idées de Maxwell ont à ce moment repris le chemin d'une ontologie déterministe.

La ressemblance des idées maxwelliennes avec le 'pouvoir décrochant' de Saint-Venant (on en discutera au chapitre suivant) est assez frappante ; l'intervention de Maxwell à l'Eranus Club précède pourtant les écrits de Saint-Venant. Nous savons que Maxwell continuera de suivre le débat et aura connaissance des idées de Saint-Venant. En effet, dans une lettre à Galton (Maxwell, 2002, lettre à Galton du 26 février 1879, p. 756-758), il suggère au biologiste britannique la lecture de Boussinesq qui « does the whole business » sur la question du libre arbitre. Maxwell a parfaitement compris la supériorité de la démarche de Boussinesq sur Saint-Venant, démarche qui ne demande plus de travail décrochant.

Dans une recension du livre de Tait et Stewart *The unseen universe*, Maxwell relie une dernière fois sa métaphore du pointsman avec les idées de Boussinesq

The dynamical theory of a conservative material system shows us, however, that *in general* the present configuration and motion determine the whole course of the system, exceptions to this rule occurring only at the instants when the system passes through certain isolated and singular phases, at which a strictly infinitesimal force may determine the course of the system to any one of a finite number of equally possible paths, as the pointsman at a railway junction directs the train to one set of rails or another. Prof B. Stewart has expounded a theory of this kind in his book on "The Conservation of Energy", and MM. de St. [Sic !] Venant and Boussinesq have examined the corresponding phase of some purely mathematical problems. (Maxwell, 1878b, p. 142)

Malheureusement, le décès de Maxwell quelques mois plus tard nous empêche de connaître l'évolution de sa pensée sur ce sujet, mais il apparaît dans une lettre à Galton (Maxwell, 2002, Lettre du 26.2.1879, p. 756-758) une bonne connaissance du débat annexe sur la liberté, notamment les travaux de Philippe Breton, dont il sera question au chapitre suivant.

5.4 Le conflit entre science et foi au travers de la question du déterminisme

Une clé de lecture possible pour comprendre les enjeux de Maxwell sur la question du libre arbitre se trouve dans le débat entre science et foi qui eut lieu en Angleterre dans la période que nous concerne. L'année 1859 marqua un tournant important dans l'Angleterre victorienne, avec la publication de *On the Origin of Species* de Charles Darwin ; le livre connut un important succès et fut au centre de nombreuses controverses, tout particulièrement concernant l'évolution humaine, et cela malgré le fait que l'œuvre de Darwin ne traitait que marginalement de cette question.

Le débat prit rapidement de l'ampleur et déborda amplement des frontières scientifiques en touchant à des questions de morale et de religion ;

en particulier, l'incompatibilité évidente avec la doctrine chrétienne impliqua qu'une partie au moins du clergé et des intellectuels croyants prirent position contre les idées de Darwin, alors qu'une partie du milieu scientifique chrétien, ainsi qu'un mouvement naissant d'intellectuels agnostiques se rangèrent rapidement en défense des idées darwiniennes.

Parmi les scientifiques de pointe qui se rangeaient du côté darwinien, il y avait notamment T. H. Huxley, J. Tyndall et les autres membres du X-Club¹⁹, ainsi que d'autres intellectuels et scientifiques, tels que W. Clifford ou F. Galton.

Il y avait dans ce milieu un sentiment général d'émancipation de la science par rapport à la religion ; il s'agissait en particulier de revendiquer l'indépendance du débat scientifique par rapport à des questions de morale et de foi ; Tyndall et Huxley revendiquaient leur agnosticisme, mais tout en défendant la liberté de foi, ils n'acceptaient pas l'ingérence de la religion dans les débats scientifiques. Leur combat contre l'ingérence religieuse se manifestait dans les communications scientifiques pour grand public, dans lesquelles ils affichaient, conjointement à leur travail de vulgarisation, des idées libérales et souvent fortement influencées par les idéaux positivistes, en opposition à la *doxa* du conservatisme chrétien. Huxley exprima très clairement son avis sur la prétention ecclésiastique d'interférer avec des problèmes scientifiques : l'autorité ecclésiastique n'était pour lui en rien un argument dans une querelle scientifique²⁰.

Parmi les arguments controversés de la théorie darwinienne, il y avait la question de la probabilité ; la probabilité échappait apparemment à la possibilité d'exprimer des lois, et en cela s'avérait une difficulté majeure, réticente à être intégrée au programme mécaniciste auquel souscrivaient la plupart des scientifiques agnostiques.

Le « déterminisme statistique » devint alors un argument d'enjeu : dé-

19. Le X-Club fut un club dînatoire qui se réunissait régulièrement dans les années 1864-1893, dont les points de convergence étaient une volonté d'émancipation de la science par rapport à l'autorité religieuse et de défense des idées sur la sélection naturelle, qui eut parmi ses membres, Tyndall, Huxley, mais aussi Herbert Spencer et William Spottiswoode.

20. Making a man a bishop, or entrusting him with the office of ministering to even the largest of Presbyterian congregations, or setting him up to lecture to a church congress, really does not in the smallest degree augment such title to respect as his opinions may intrinsically possess. And when such a man presumes on an authority which was inferred upon him for other purposes to sit in judgement upon matters his incompetence to deal with which is patent, it is permissible to ignore his sacerdotal pretensions, [...](Huxley, 1893, p. 249)

fendre la compatibilité entre probabilités et lois était un puissant argument en défense d'une science capable de suffire conceptuellement à soi-même, et donc a fortiori contre l'ingérence ecclésiastique. En effet, un monde entièrement régi par des lois, des lois capables de réglementer et d'expliquer la totalité des faits du monde, pouvait se passer de toute intervention divine. De plus, l'idée de grâce et de mérite, qui étaient centraux dans la croyance chrétienne, étaient clairement incompatibles avec une telle structure 'par loi' du monde, dans laquelle la responsabilité individuelle, et donc le mérite de la grâce étaient forcément à repenser entièrement.

Pour son compte, Maxwell était assez réticent à prendre position publiquement sur le rapport entre science et foi. Il croyait en une conciliation possible, mais en même temps il estimait que de tels jugements devaient rester personnels. Chaque scientifique était sensé trouver sa propre cohérence entre ses convictions et sa pratique (Harman, 1998, p. 197-208). Cependant, il refusait que la science soit employée comme un argument contre la croyance religieuse, et en particulier contre le libre arbitre.

Le texte-manifeste qui marqua le plus l'agenda pour l'indépendance de la science fut probablement le *Address Delivered Before the British Association Assembled at Belfast* de John Tyndall (1874) ; le but de ce plaidoyer était de revendiquer une autonomie complète de la recherche scientifique

[...] science claims unrestricted right of search. It is not to the point to say that the views of Lucretius and Bruno, of Darwin and Spencer, may be wrong. Here I should agree with you, deeming it indeed certain that these views will undergo modification. But the point is, that, whether right or wrong, we ask the freedom to discuss them. For science, however, no exclusive claim is here made ; you are not urged to erect it into an idol. (Tyndall, 1874)

cependant, le choix de Belfast, forteresse du catholicisme irlandais, de la part d'un Irlandais de famille protestante, ainsi que plusieurs propos ouvertement provocateurs, firent de cette communication un véritable scandale.

Tyndall défendait par ailleurs un déterminisme strict, notamment afin d'éliminer la nécessité d'une référence divine dans la science

[...] were a capricious God at the circumference of every wheel and at the end of every lever, the action of the machine would be incalculable by the methods of science. But the action of all its parts being rigidly determined by their connexions and

relations, and these being brought into play by a single self-acting driving wheel, then, though this last prime [23/24] mover may elude me, I am still able to comprehend the machinery which it sets in motion. (ibid.)

Ce déterminisme contrastait notamment avec l'idée de libre arbitre, et donc avec la possibilité pour l'homme de mériter la récompense éternelle par ses actes ; il n'est pas clair que Tyndall ou Huxley aient réellement poussé l'argument jusqu'à nier toute forme de liberté individuelle, mais la posture positiviste et mécaniciste de leurs écrits rebutait d'autres auteurs de foi chrétienne, tels que Maxwell, Tait ou Kelvin. Maxwell en particulier s'exprima de façon très sarcastique contre Tyndall : il composa même un poème satirique contre son collègue irlandais (Maxwell, 2002, p. 118-119 (1874)). La querelle autour du libre arbitre était donc fortement influencée par le débat qu'elle sous-tendait entre science et religion.

Cela n'implique bien sûr pas que Maxwell ou Kelvin souscrivaient aveuglément à des positions radicales en matière de religion, ni qu'ils envisageaient la science comme un moyen de défendre une doctrine religieuse. Cependant, il est clair que Maxwell considérait la science comme compatible avec ses propres convictions religieuses ; en particulier, il était convaincu que l'extension du mécanicisme à un principe s'appliquant universellement était incompatible avec la science dûment comprise, tout spécialement en ce qui concernait la possibilité pour l'homme d'influencer le monde inanimé et d'y exercer sa propre volonté (Porter, 1986, septembre 1874, p. 194-208).

Lord Kelvin partageait cet avis ; bien que protagoniste de pointe de la théorie atomique de la chaleur, il estimait que les créatures vivantes ne pouvaient pas s'expliquer et être réduites à des lois mécanicistes²¹.

Maxwell et Kelvin partageaient une idée du libre arbitre comme étant caractéristique du vivant et en particulier de l'homme, une propriété qui ne pouvait pas se réduire à des lois physiques, mais qui en même temps ne violait pas les lois physiques. L'intérêt de Maxwell pour les débats sur la liberté s'explique à notre sens de cette façon ; Kelvin de son côté maintiendra

21. Mathematics and dynamics fail us when we contemplate the earth, fitted for life but lifeless, and try to imagine the commencement of life upon it. This certainly did not take place by any action of chemistry, or electricity, or crystalline grouping of molecules under the influence of force, or by any possible kind of fortuitous concurrence of atoms. We must pause, face to face with the mystery and miracle of the creation of living creatures. (Thomson, 1889, p. 711)

systématiquement une séparation entre les lois physiques qui ne concernent que l'inanimé et le comportement des êtres vivants (sur l'idée de libre arbitre chez Kelvin voir aussi Smith et Wise (1989), tout particulièrement p. 612-621).

Tout particulièrement, dans un article de 1874 sa discussion sur la réversibilité de la deuxième loi spécifie attentivement que de telles spéculations ne s'appliquent pas aux vivants²², une précaution fort intéressante si on la met en rapport avec l'avis de Philippe Breton sur la même question (on y reviendra au chapitre suivant).

L'idée du démon de Maxwell donne une portée majeure à cette hypothèse de compatibilité du libre arbitre avec les lois mécaniques ; le démon ne viole en effet aucune loi microphysique. En revanche, l'action libre du démon, qui n'est rien d'autre que sa particularité d'être doué de conscience, permet la violation d'une loi macroscopique de la physique, la deuxième loi de la thermodynamique. Il semblerait que Kelvin et Maxwell n'aient pas eu la même interprétation de la deuxième loi ; si Maxwell penchait plutôt pour une interprétation de la loi en termes épistémiques, c'est-à-dire comme un manque de connaissance du système qui est propre de notre observation (quoiqu'avec des nuances, comme nous l'avons dit), Kelvin lui accordait une signification plus profonde et estimait que pour des créatures finies telles que nous sommes, la deuxième loi est absolue, car seulement un être doué de pouvoirs infinis aurait pu renverser la vitesse de chaque particule, condition nécessaire pour un univers dans lequel la deuxième loi serait systématiquement violée. En effet, Kelvin au travers de son exemple du renversement des vitesses d'un système montre qu'il est de moins en moins probable, avec le nombre croissant de particules d'un système, que la deuxième loi soit violée. Cependant, si l'on croit que le nombre de particules dans l'univers est infini, cette opération devient impossible même dans l'idéal (ibid. p. 442) ; le deuxième principe acquiert alors, lorsqu'il concerne le monde réel plutôt qu'un modèle physique idéalisé, un statut intermédiaire entre épistémologie et ontologie : s'il reste vrai pour Kelvin qu'ontologiquement chaque particule est douée d'une vitesse et d'une posi-

22. And if also the materialistic hypothesis of life was true, living creatures would grow backwards, with conscious knowledge of the future, but no memory of the past, and would become again unborn. But the real phenomena of life infinitely transcend human science, and speculation regarding consequences of their imagined reversal is utterly unprofitable. (Thomson, 1874, p. 442)

tion à tout instant, leur interaction avec un nombre infini d'autres particules rend le renversement des vitesses, et donc la violation de la deuxième loi impossible et pas seulement invraisemblable.

Ainsi le débat entre déterminisme et libre arbitre devient un débat entre un mécanisme compris au sens strict et applicable universellement et un mécanisme moins strict, dont les conséquences ne s'appliquent pas au niveau macroscopique de façon systématique ; ce débat a lieu en réaction et parallèlement au débat sur la compatibilité entre croyance religieuse et science, et sur le rôle que les croyances religieuses peuvent et doivent jouer dans la recherche scientifique.

Le débat sur la compatibilité entre libre arbitre et déterminisme chez les physiciens, et notamment Maxwell, mêle plusieurs enjeux de nature religieuse, sur le rapport entre travail scientifique et foi individuelle, mais aussi des enjeux d'ordre plus sociologique, tels que la place du scientifique dans des débats d'ordre philosophique. Ainsi pour Maxwell il s'agit à la fois de défendre sa liberté de croyance vis-à-vis de son travail de chercheur, mais aussi de nier l'emprise du discours scientifique sur des questions d'ordre philosophique : l'agnosticisme face à la question du libre arbitre est aussi une impossibilité du travail scientifique d'avoir le dernier mot sur une question philosophique, sans pour autant nier la pertinence d'un débat philosophique scientifiquement éclairé.

Ce qui nous paraît particulièrement intéressant est l'appropriation des arguments queteletiens de la part de Maxwell : tout en ayant sa propre originalité le débat sur la compatibilité entre libre arbitre et lois scientifiques puise aux sources queteletiennes afin de formuler une réponse. Si c'est d'un côté une preuve ultérieure de l'importance du débat autour des régularités statistiques, nous assistons ici à un véritable transfert d'outils et de concepts, mais aussi une évolution et une sophistication du débat. Maxwell ne se contente pas de briser le pont réductionniste, mais fournit un appui conceptuel solide à l'argument de Quetelet de l'indépendance entre niveaux de description. De plus, cette réflexion sur l'influence et l'impact du comportement micro sur le comportement macro s'avère riche des conséquences allant au delà du débat sur la liberté.

Maxwell, par ses arguments sur l'instabilité, la sensibilité aux conditions initiales, la suggestion d'un rapport flou entre ontologie et épistémologie,

devance de plusieurs années des discussions semblables ayant marqué le développement des théories du chaos (Ruelle, 2010; Dahan Dalmedico, 1992).

Chapitre 6

Le débat autour du mémoire de Boussinesq

Une idée fausse, mais claire et précise aura toujours plus de puissance dans le monde qu'une idée vraie, mais complexe

de Tocqueville

Nous avons vu au chapitre précédent que la vague rentrante du *thema* mécaniciste se heurtait en physique même avec des convictions sur la nature de l'homme et sur sa liberté, des convictions enracinées fort souvent dans les idées philosophiques et religieuses de certains scientifiques. Nous allons maintenant revenir sur le sol français, afin de suivre la suggestion maxwellienne de ce Joseph Boussinesq qui « does the whole business » sur la question de la liberté. Maxwell se réfère à un mémoire de Boussinesq à l'histoire éditoriale assez complexe, et nous ignorons exactement la version que Maxwell a pu lire. Nous allons ici reconstruire le contexte de ce mémoire : premièrement, nous allons discuter des travaux de Philippe Breton, cité par Maxwell, qui permettra de situer l'état de l'art sur la conciliation entre mécanicisme et libre arbitre. Nous allons ensuite nous plonger sur le mémoire de Boussinesq et le débat qui en suivit, pour en parcourir les traces au travers des textes qui apparurent dans les années suivantes sur la même question.

6.1 Philippe Breton et la réversibilité

Philippe Breton, un ingénieur des ponts et des chaussées, publie en 1875 dans les *Mondes*¹ un mémoire contenant un argument sur la réversibilité du temps : il imagine renverser la vitesse de chaque particule de l'univers, afin de voir le monde revenir sur ses pas, ce qui est pour lui un argument prouvant l'absurdité du mécanisme.

L'argument est de nos jours connu sous le nom de 'paradoxe de Loschmidt' et est souvent utilisé dans le contexte de la théorie cinétique des gaz. Le paradoxe fut formulé par Thomson (1874), avant le travail de Philippe Breton. Cependant, le contexte du travail de Breton n'a, de fait, pas de connexion avec la théorie des gaz et le deuxième principe. Il s'agit plutôt d'un plaidoyer contre une image mécaniste de la nature. Maxwell cite Breton dans sa lettre où il est aussi question des travaux de Boussinesq ; il devait pourtant être au courant de l'article de Kelvin qui venait résumer des discussions auxquelles il avait participé. De plus, nous savons que des idées semblables circulaient dans la période : une nouvelle de Flammarion (1872) par exemple, imagine un voyage dépassant la vitesse de la lumière et affichant donc un déroulement de l'histoire 'à l'envers'. Boussinesq (Lettre de Boussinesq à Saint-Venant du 27 mars 1877, F 86-90)² en parle dans une lettre comme d'un travail précurseur à celui de l'œuvre de Philippe Breton. Nous pensons que de telles spéculations devaient être 'dans l'air du temps', sans forcément de rapport avec la théorie cinétique des gaz et pouvaient servir des buts très différents suivant le contexte de leur usage.

Le travail de Breton nous paraît intéressant pour deux raisons : premièrement, il s'agit d'un texte cité par Maxwell et Boussinesq. De plus, Boussinesq en discute dans sa correspondance, montrant donc accorder

1. Le titre complet de la revue est *Les Mondes - Revue Hebdomadaire des Sciences*, et le mémoire de Philippe Breton apparaît aux livraisons du 2, 9, 16 et 23 décembre 1875.

2. La correspondance privée de Joseph Valentin Boussinesq est conservée à la bibliothèque de l'Institut de France. Elle est rangée dans un ordre assez particulier : les lettres écrites à Boussinesq par différents auteurs sont classées dans deux ouvrages comme 'correspondance de Boussinesq' classés par auteur dans l'ordre alphabétique ; ils contiennent plusieurs brouillons des réponses du mathématicien (côtes MS4228-4229). La correspondance de Boussinesq avec son maître Saint-Venant est classée par date sur des feuillets non reliés et numérotés, comme 'correspondance de Saint-Venant'. Ces fascicules contiennent majoritairement des lettres de Boussinesq à Saint-Venant, mais aussi plusieurs réponses de celui-ci, ainsi qu'une partie de sa correspondance privée avec d'autres auteurs. Nous allons donc citer les lettres avec la date, le numéro de feuillet, l'auteur et le destinataire ; dans les références bibliographiques, nous avons donné des titres (correspondance de...) avec la côte.

à ce texte une certaine importance. Deuxièmement, Philippe Breton est un auteur dont 'l'affiliation intellectuelle' est proche de celle de Boussinesq (catholique, défenseur du libre arbitre et d'une épistémologie non positiviste), mais dont les arguments sont assez opposés à celui-ci. En effet, l'idée clé de Breton est de montrer que les lois de la mécanique ne suffisent pas à rendre compte de tout phénomène naturel, notamment les êtres vivants. Le conflit qui en suit implique, selon Breton, que les êtres vivants sont inexplicables par la mécanique. L'existence des vivants mettrait alors en défaut les lois de la mécanique qui ne suffiraient plus à expliquer tout ce qui existe. Il s'agit donc d'une réduction à l'absurde qui ayant fait l'hypothèse du mécanicisme constate son insuffisance et conclut contre cette hypothèse.

Au contraire, Boussinesq proposera une conciliation entre liberté et mécanicisme : son idée n'ira pas donc contre, mais avec l'idée d'une validité absolue des lois mécaniques. Pour Breton, les lois de la mécanique ne s'appliquent pas aux vivants, alors que pour Boussinesq c'est bien le cas.

Le travail de Breton sera publié dans un petit ouvrage avec une préface par l'Abbé Moigno, l'éditeur de la revue *Les Mondes*³ qui y joint un deuxième mémoire de sa plume. Moigno se réfère explicitement dans la préface au célèbre passage du démon de Laplace, ainsi qu'à d'autres textes du même goût. Le but qu'il se donne est de porter une attaque au matérialisme, au fatalisme et aux mathématiques comprises en un sens matérialiste et fataliste.

Nous n'avons donc rien exagéré en affirmant que la mécanique générale et la fameuse équation de Laplace, sont la source et l'expression dernière des théories matérialistes et fatalistes du Monde [...] Au fond, rien de plus absurde, mais aussi rien de plus spécieux et de plus propre à endormir les intelligences que la foi effrayée et inquiète, sur lesquelles les mathématiques exercent une fascination contagieuse, une sorte d'hypnotisme séducteur.
(Breton et Moigno, 1876, p. vi-vii)

Revenons-en au mémoire de Philippe Breton. Son idée est de renverser le temps, en remplaçant « chaque vitesse par une vitesse égale et contraire (ibid. p. 13) ». Breton explique clairement qu'il ne suffit pas de faire cela pour des objets macroscopiques, mais que c'est nécessaire d'opérer cette inversion au niveau atomique. Il illustre son propos à l'aide des frottements,

3. Toutes nos citations proviennent de cette publication.

dont l'action semble aller dans un seul sens, mais peut être inversée si on inverse le mouvement de chacun des atomes qui ont donné lieu au frottement. Le but de Breton est de montrer que l'hypothèse selon laquelle « *tout* se réduit absolument à ces deux choses, matière et mouvement (ibid. p. 12) » est absurde, et qu'il doit donc y avoir plus dans le monde. Son travail est aussi un plaidoyer en faveur d'une compréhension causale du monde : la réversion temporelle inverse le sens de la causalité en créant des situations insensées, ce qui prouverait que la causalité n'est pas réductible à la matière et au mouvement tout en étant bien nécessaire pour rendre compte des phénomènes naturels. Breton accorde que les phénomènes non vitaux n'impliquent pas d'absurdité lorsqu'on les renverse ; ils sont donc bien réductibles à de la matière en mouvement. Les phénomènes vitaux sont pourtant d'un tout autre genre.

Les mathématiques et la réduction aux mathématiques revêtent une certaine importance pour Breton ; en particulier, la « distinction [...] des causes et des effets n'est point mathématique, puisque rien ne l'exprime dans les formules (p. 47) ». Les mathématiques sont donc insuffisantes à tout exprimer sur la nature, car « tout n'est pas quantité (p. 61) ». Breton illustre les conséquences de la réversion par des images très colorées (un fruit moisi qui redevient bourgeon, un vieil homme qui rajeunit, etc.), le tout dans le but de montrer l'absurdité du matérialisme, en faveur de ses convictions spiritualistes.

6.2 Le mémoire de Boussinesq de 1877

En février 1877, le mathématicien français Joseph Valentin Boussinesq (1842-1929) présente une première version succincte d'un mémoire qu'il élargira par la suite dans son *complément au Tome III du Cours de physique mathématique de la faculté de sciences*, intitulé *Conciliation du véritable déterminisme mécanique avec l'existence de la vie et de la liberté morale*. Il s'agit d'un texte assez technique dépassant de peu les 200 pages, qui se plonge sur une difficulté majeure de la théorie des équations différentielles ordinaires (voir annexe 6). Joseph Boussinesq était à l'époque de son mémoire un jeune professeur à l'université de Lille et un mathématicien prometteur, ayant gagné le prix Poncelet en 1872. Remarqué par Saint-Venant, il était en contact régulier avec ce dernier qui l'avait pris sous son égide. L'amitié qui unissait les

deux hommes était à la fois due à leur amour des mathématiques et à leurs convictions philosophiques et religieuses, étant des fervents catholiques. Il existe une bibliographie numériquement modeste, mais intéressante d'auteurs qui se sont penchés sur Boussinesq et son travail (Nye, 1976; Israel, 1991, 1992; Zerner, 1994; Van Strien, 2014)⁴. Cependant, aucun de ces auteurs ne s'est intéressé au débat qui a suivi la publication du mémoire de Boussinesq et sur lequel nous nous pencherons dans la deuxième moitié de ce chapitre.

Le mémoire de Boussinesq a une histoire éditoriale quelque peu complexe. Boussinesq, avec le soutien de son maître Saint-Venant, publie trois articles assez proches les uns des autres (Boussinesq, 1877a,b,c) pour finalement parvenir à une version plus longue qui sera publiée partiellement l'année suivante (Boussinesq, 1878). Il faudra attendre encore un an (Boussinesq, 1879a) pour voir paraître la version complète. La chronologie est assez importante : le mémoire de Boussinesq éveille l'hostilité de Joseph Bertrand dès sa première parution, comme nous le savons au travers d'une lettre qu'il adresse à Saint-Venant (lettre de Bertrand du 13 février 1877, F 39). Bertrand n'est pour le moment au courant que de la version courte déposée à l'Académie des Sciences. Il réagira plus tard publiquement au mémoire de Boussinesq et nous savons, grâce à la correspondance, qu'une rencontre aura lieu entre les deux hommes (lettre de Boussinesq à Saint-Venant du 6 avril 1880) qui confirmera l'hostilité de Bertrand. Les rapports de force sont clairement du côté de Bertrand, de 20 ans l'aîné de Boussinesq qui en 1877 n'est qu'un jeune mathématicien de 35 ans. L'inimitié de Bertrand, peut-être de nature politique⁵, coûtera un premier échec à Boussinesq alors qu'il espère être nommé à la Sorbonne. Boussinesq ne se laisse certainement pas intimider ; il maintiendra d'ailleurs ses idées en la matière en tout cas jusqu'en 1922, en proposant une version remaniée de son mémoire.

La difficulté rencontrée par Boussinesq concerne la possibilité qu'une

4. Nous avons eu l'opportunité d'échanger des commentaires et des réflexions lors d'échanges épistolaires sur l'œuvre de Boussinesq avec Marij Van Strien et Martin Zerner que nous remercions ici.

5. La correspondance entre Saint-Venant et Boussinesq donne à penser que l'inimitié de Bertrand était liée à la fois à des opinions philosophiques différentes et à des divergences politiques. Tout particulièrement, Boussinesq était étranger aux cercles parisiens les plus influents, dans lesquels Bertrand avait en revanche un rôle central (Zerner, 1991). La correspondance laisse penser, tout en étant un point de vue partiel sur la question, que des affaires de nominations, de pouvoir et d'influence au sein de l'Institut de France eurent leur rôle à jouer dans le différend qui opposera Bertrand, Boussinesq, et indirectement Saint-Venant.

équation donnée - censée décrire le mouvement d'un mobile sur une surface - ait plus qu'une solution. Boussinesq se soucie de rendre explicite qu'il ne présente pas un fait totalement nouveau, en citant trois mathématiciens ayant traité le même problème (Poisson, Duhamel, Cournot). Il revendique cette filiation 'noble' de son idée, en expliquant que, quoique déjà analysée dans le passé, elle n'a pas apparemment été étudiée en détail : ce n'est pas tellement l'existence des solutions singulières que Boussinesq estime être son apport original au problème, puisqu'il reconnaît la paternité de Poisson, c'est plutôt l'interprétation qu'il prétend obtenir de cette difficulté mathématique.

Boussinesq affirme que cette particularité des équations a été négligée, voire ignorée par la communauté des mathématiciens. Or, la non-unicité des solutions brise la perfection absolue du déterminisme laplacien. Boussinesq s'appuie donc sur cette difficulté technique pour en tirer des conséquences originales sur l'existence de la liberté morale : l'idée est de relier la possibilité de plusieurs solutions aux équations avec la possibilité de plusieurs futurs possibles. Comment expliquer que plusieurs futurs potentiels se traduisent par un seul futur réel ? En absence d'une détermination par les lois de la mécanique, Boussinesq introduit un pouvoir directeur, une capacité censée choisir un futur ou l'autre et donc, par ce principe, il introduit une brèche qui permet de réconcilier le libre arbitre avec le déterminisme laplacien.

L'apport original de Boussinesq, c'est d'affirmer qu'une telle dynamique nécessite justement du *pouvoir directeur* pour être entièrement déterminée. Selon Boussinesq, il existe des points de bifurcation aux instants correspondants à une multiplicité des solutions, c'est-à-dire les instants de temps où deux (ou plusieurs) dynamiques sont possibles. Or, cela implique une violation du déterminisme laplacien, mais ne contredit pas les lois de la physique. Les équations de mouvement sont compatibles avec chacune des possibilités de la bifurcation : dans un cas comme dans l'autre, le mobile se comporte conformément aux lois de Newton.

Cela revient à dire que les mathématiques ne suffisent pas à déterminer ce qui se passera dans un point de bifurcation ; quelque chose doit pourtant se passer, mais les lois physiques ne suffisent pas à déterminer ce qui se passera effectivement parmi des choix possibles. Boussinesq invoque alors l'existence du pouvoir directeur qui détermine le comportement du mobile, en nous sortant de l'impasse. Or, ce pouvoir directeur ne peut pas décou-

ler des mathématiques elles-mêmes ; il doit donc se trouver en dehors de celles-ci. Puisque les mathématiques coïncident avec les lois mécaniques, le pouvoir directeur est un principe non mécanique. Le pouvoir directeur est bien sûr, dans l'idée de Boussinesq, la clé de la liberté individuelle, la possibilité d'un acte libre de toute contrainte mécanique.

La nature du pouvoir directeur n'est pas clairement établie par Boussinesq ; ce serait un principe qui sans avoir « à son service aucune force mécanique qui lui permît de lutter contre celles qu'il trouverait dans le monde ; il profiterait seulement de leur insuffisance, [...] (Boussinesq, 1879a, p. 40) ». Le pouvoir directeur donne donc lieu à deux genres de dynamique possible ; l'une dans laquelle « les lois mécaniques exprimées par les équations différentielles détermineront à elles seules la suite des états par lesquels passera le système (ibid. p. 52) » et l'autre, là où le principe directeur agit, dans lequel « les équations admettrons des intégrales singulières, et dans lesquels il faudra qu'une cause distincte des forces physico-chimiques intervienne [...] pour *diriger* le système (ibid.) ».

Ce principe directeur « se comporte évidemment de différentes manières, suivant qu'il s'agit d'actes complètement inconscients, d'actes plus ou moins conscients, enfin d'actes délibérés [...] (ibid. p. 57) ».

L'évidence évoquée par Boussinesq nous semble loin d'être patente et, comme nous le verrons, Boussinesq lui-même affiche probablement plus de confiance qu'il en a réellement. Somme toute, Boussinesq penche pour une intuition du principe directeur qui serait d'une nature extraphysique, capable de se concilier comme nous le verrons avec ses convictions religieuses. Le principe directeur pourrait donc être le déguisement scientifique derrière lequel cacher une intuition de l'âme ou de quelque chose de semblable. L'élan vital, ou en tout cas un principe distinguant les vivants de non-vivants, est même revendiqué par Boussinesq. Cependant, Boussinesq se heurte ici à l'une des limites de son travail : l'insuffisance des équations, ou autrement dit leur multiplicité de solutions, se présente aussi dans des cas qui n'ont rien à voir avec un quelconque principe faisant intervenir des choix ou des délibérations. Il est donc forcé de faire chaperonner par son principe directeur plusieurs possibilités d'indétermination à la fois.

Nous savons, grâce à sa correspondance, que Boussinesq avait à cœur de distinguer ce principe directeur d'une spéculation de nature miraculeuse, contrairement à ce qui aurait été le souhait de Saint-Venant (lettre à Saint-

Venant du 13 avril 1877). Boussinesq était tout particulièrement soucieux de bien distinguer son travail de mathématicien et de scientifique de celui des philosophes et des théologiens. Ainsi, à maintes reprises, il insiste sur ce point dans la correspondance. « Je ne crois pas être sorti un instant du champ scientifique » (lettre à Saint-Venant du 7 février 1877, F29), écrit-il dans sa première lettre concernant les solutions singulières ; et il renchérit le 11 février sur la nécessité d'une conciliation de la liberté avec le déterminisme plutôt que d'une suppression de celui-ci. Sollicité par Saint-Venant à apporter des modifications qu'il n'envisage pas, il détaille ses convictions sur la séparation qu'il est important de maintenir entre science et foi, et sur le domaine respectif de chacune (lettre à Saint-Venant du 6 mars 1877, F78).

Boussinesq est bien conscient du fait que pour qu'une solution singulière se présente, il faut que la vitesse du mobile s'annule dans un point d'équilibre instable (voir annexe A) ; le pouvoir directeur n'a ainsi nullement besoin de contredire aux lois de la physique, car il se réduit à exercer une action dont l'intensité est nulle et n'est donc pas mesurable. La force (ou l'énergie) nécessaire à mettre en mouvement un mobile qui se trouve en équilibre instable est nulle (dans les cas de bifurcation étudiés par Boussinesq), ce qui évite à Boussinesq l'objection standard qui était mûe à l'époque à l'encontre des hypothèses vitalistes, à savoir que les forces vitales non seulement inobservées dans des expériences de laboratoire, étaient en outre en contradiction avec les lois de la mécanique. Le pouvoir directeur de Boussinesq ne doit que s'insérer là où les lois mécaniques sont insuffisantes à tout déterminer et il n'est donc pas en contradiction avec celles-ci : il « n'aurait à son service aucune force mécanique qui lui permit de lutter contre celles qu'il trouverait dans le monde ; il profiterait seulement de leur insuffisance, [...] (Boussinesq, 1879a, p. 40). »

Boussinesq insiste davantage sur le fait que le principe directeur est tout à fait compatible avec les lois de la mécanique, et il demeure donc un réductionniste ; il marque ainsi sa distance avec les vitalistes qui étaient accusés de contredire des théories scientifiques bien établies. Néanmoins, l'idée de Boussinesq, si elle n'est pas sujette à la critique antivitaliste de contredire les connaissances scientifiques (une critique bien fondée, qui mettait en péril le vitalisme et qui en décréta le déclin progressif), possède un fond de vitalisme manifeste : ce que Boussinesq essaie de faire, c'est de montrer l'insuffisance des sciences physiques face aux phénomènes vitaux. Une ample partie du

mémoire est dévolue à défendre l'idée que des êtres vivants ont davantage de chances d'être décrits par des équations à solutions singulières. L'idée de Boussinesq est au fond vitaliste, et elle essaie de défendre une spécificité des vivants doués de libre arbitre face aux non-vivants, entièrement gouvernés par le déterminisme laplacien. La 'conciliation' dont parle le titre du mémoire est tout aussi entre déterminisme et libre arbitre qu'entre réductionnisme et libre arbitre, et ne structure pas la différence conceptuelle de façon patente. Boussinesq s'efforce même de réduire la différence qualitative entre le vivant et l'inanimé à une propriété mathématique : « [U]n être animé serait [...] celui dont les équations de mouvement admettraient des intégrales singulières (ibid. p. 40) » ; on voit à quel point l'idée de Boussinesq est redevable du réductionnisme laplacien, et entièrement inscrite dans ce cadre de raisonnement, dont elle est incapable de se défaire. Dans la correspondance, il discute plus en détail la frontière qu'il pose entre le vivant et le non-vivant plutôt que, dans le socle de la tradition chrétienne, entre l'humain et le non-humain (lettre à Saint-Venant du 13 avril 1877). Boussinesq estime que l'animal et le végétal, tout comme l'homme, « sont autre chose qu'un laboratoire de chimie (ibid.) ».

La nouveauté est donc une faille dans la structure déterministe, tout en préservant le cadre réductionniste et mécaniste, par l'ajout du principe directeur. Ce principe est un élément non réductible aux lois physiques, mais plutôt une conciliation qu'une rupture avec le déterminisme, une nouveauté que le mémoire revendique en sa conclusion

[...] les lois physiques, au sens *précis*, qu'on leur attribue d'ordinaire, d'équations différentielles du mouvement des systèmes matériels, ne sont nullement synonymes d'un déterminisme absolu, dans lequel sombreraient la liberté morale des êtres humains et leur responsabilité. (Boussinesq, 1879a, p. 140, italiques dans le texte).

Nous remarquerons de plus que le rapport entre déterminisme dans les équations et déterminisme du monde physique est direct, et n'est nullement remis en question ; au contraire, l'idée que les mathématiques soient Langage de la Nature est cruciale pour la structure logique de l'argument de Boussinesq.

Le positionnement de Boussinesq par rapport au triptyque laplacien nous paraît clair : il souscrit d'entrée de jeu dans son mémoire au réduc-

tionnisme mécaniciste de Laplace. En effet, on peut lire au tout début du mémoire

Les savants s'accordent pour admettre que les lois physiques et chimiques sont réductibles, en dernière analyse, à des équations différentielles, reliant les unes aux autres les transformations successives de la matière, ou déterminant la *dérivée*, par rapport au temps, de chacune des quantités qui définissent l'état d'un système de corps, en fonction des valeurs actuelles de ces quantités (Boussinesq, 1879a, p. 35)

Par cette entrée en matière, et comme nous allons par ailleurs le montrer dans la suite, Boussinesq accepte d'emblée le triptyque laplacien, déterminisme, réductionnisme et mathématique comme Langue de La Nature ; l'effort est ensuite dirigé à chercher des exceptions au déterminisme. La lecture de sa correspondance nous éclaire davantage sur sa compréhension du rapport entre mathématiques et physique, qui est bien moins grossière que ce qui transparaît du mémoire. Par exemple, dans la correspondance, Boussinesq reconnaît que certaines abstractions géométriques n'ont pas d'importance pour le physicien, notamment en ce qui concerne la continuité de l'espace et du temps (lettre à Saint-Venant du 21 juin 1877). Cependant « [J]e répondrais, à un adversaire qui me refuserait la continuité exacte de l'espace et du temps, qu'une seule chose, à savoir, que le géomètre a fait son devoir et tout son devoir quand il a adapté autant que le comporte notre nature intellectuelle, son analyse aux choses (ibid.) ». Il adopte donc une position agnostique face à la question de l'exactitude des descriptions mathématiques. Cette attitude contraste en partie avec la nature même de son mémoire, qui traite les mathématiques comme une description absolument fidèle du réel. Les attaques à son adresse seront justement toutes portées à ce niveau de la dispute, c'est-à-dire sur la nature des mathématiques et leur correspondance avec le monde physique.

La position mécaniciste de Boussinesq qu'on trouve dans les travaux publiés est aussi bien plus tranchée que celle qui ressort de sa correspondance. Outre que celle déjà citée, d'autres remarques nous permettent de deviner le mécanicisme de Boussinesq. Boussinesq se montre favorable à l'exportation du modèle mécaniciste en dehors de la physique. Par exemple, dans une note, il écrit que « la notion de *dérivée* a une haute importance en philosophie, en histoire naturelle et sociale, en chimie, en économie poli-

tique ou financière (*taux* d'accroissement d'un capital), etc. ; et combien il est à désirer qu'elle devienne familière à d'autres savants que les géomètres et les physiciens (Boussinesq, 1879a, p. 36) ». Cette attitude de confiance dans les mathématiques trouve une confirmation dans certaines lettres, ainsi que l'adhésion de Boussinesq à une vision mécaniciste du monde physique. Par exemple, Boussinesq affirme : « Il me paraît difficile d'admettre dans le monde matériel rien de substantiel en dehors des atomes mêmes (lettre du 2.8.77, F174-175) » dans le contexte d'une discussion sur l'existence d'une substance extraphysique. Boussinesq souscrit donc à un monde qui fonctionne suivant des lois mécaniques qui ne suffisent pas à expliquer le vivant, mais qui dominent partout ailleurs. Cependant, les discussions avec Saint-Venant sont souvent nuancées, dubitatives et en général moins affirmatives que les œuvres publiées.

Dans son mémoire, Boussinesq discute aussi du déterminisme comme conséquence des régularités sociales une discussion qui n'est pas très étendue, mais, nous pensons, importante aux yeux du mathématicien.

Une des plus fortes objections qu'on ait élevées contre la doctrine de la liberté morale est celle qui se tire de la constance, ou du moins de la lenteur relative de variation, des nombres de crimes, d'actes individuels de toute nature, qu'une grande association humaine voit se produire chaque année. Ces nombres, expression d'effets très complexes, ne changent notablement, d'une époque à l'autre, que dans la mesure où se modifient en même temps l'état physique moyen et l'état moral moyen de la société qui les enregistre dans son sein. Parmi les causes qui entrent en part dans leur formation, celles-là seules y paraissent, ou ne sont pas masquées, qui agissent bien plus souvent dans un sens que dans le sens contraire. Or la liberté morale n'est évidemment pas de ce nombre. [. . .] Il est donc naturel que son influence *propre* s'élimine, en majeure partie, des *grands nombres* que recueille la statistique, [. . .] (Boussinesq, 1879a, p. 61-62)

La constance de certains faits sociaux n'est pour lui que la conséquence des grands nombres qui effacent, par le procédé de la moyenne, les effets individuels libres. Par ailleurs, le style et certains syntagmes, sans être une citation, reprennent de très près les écrits de Quetelet dont nous avons parlé au chapitre 1. Ce qui apparaît au niveau des individus disparaît au

niveau des agrégats d'individus, en vertu de la 'loi des grands nombres', et il y a donc une dissymétrie entre macroscopique et microscopique au niveau social. Les effets moyens ont donc l'effet d'annuler ces mêmes particularités que l'instabilité amplifie ; de plus, Boussinesq reprend l'argument queteletien sur les changements sociaux lents et progressifs qui s'opèrent dans la société (voir par exemple Lottin (1911) pour un travail prenant en compte une comparaison multiple des écrits de Quetelet). Que cette précision était ressentie comme importante par Boussinesq, nous le devinons du fait qu'elle est présente du début, dans la première intervention (1877a) qui n'est pourtant que de sept pages. De plus, dans une lettre du 7 février 1877, celle qui annonce à Saint-Venant l'envoi du mémoire, Boussinesq ajoute : « Vous savez combien des hommes d'ailleurs instruits et ne manquant pas de clairvoyance sont impressionnés par la rigueur, la constance de nombres de crimes ou d'autres actes que chaque année voit se produire, et la difficulté pour ne pas dire (à les en croire) l'impossibilité, où ils se trouvent de concilier des lois presque inexorables de la statistique avec la liberté humaine. C'est à leur adresse que j'ai ajouté un petit alinéa à la fin de mon article ». Boussinesq qui publie dans des revues telles que *Séances et travaux de l'Académie des sciences morales et politiques*, à côté d'auteurs comme Vacherot et Levasseur, (des contributions des deux sont présentes dans le même compte-rendu qui publiera la version longue du mémoire de Boussinesq (1878) et nous savons, grâce à la correspondance, que le duo Boussinesq/Saint-Venant avait des contacts épistolaires avec Vacherot) devait bien être au courant des débats sur la liberté et les statistiques.

Une dernière remarque mérite d'être faite : la communication, pourtant courte, de Saint-Venant sur le mémoire de Boussinesq se termine par une citation *in extenso* de la partie du mémoire concernant les régularités statistiques, preuve s'il en faut de l'importance que cette question avait aux yeux des acteurs du débat sur le libre arbitre. Nous estimons que Saint-Venant, soucieux de toute atteinte possible à la liberté individuelle, souscrit en cela à la position de Boussinesq sur la régularité statistique.

En résumant, l'idée de Boussinesq d'une faille dans le déterminisme ne naît pas au hasard, mais relève des convictions philosophiques de l'auteur et s'inscrit dans un débat plus vaste qui touche aux croyances religieuses de Boussinesq, de façon analogue à Maxwell. Boussinesq était catholique, et voyait dans le déterminisme une menace directe pour sa croyance. Il

scinde le domaine scientifique, la philosophie naturelle, de celui métaphysique ; cependant, le déterminisme représente un point de conflit entre ces deux mondes qui rend tout particulièrement difficile de concilier la liberté d'action, et donc le mérite et le démérite de la grâce divine, avec le déterminisme laplacien. Conscient que le déterminisme est une menace directe aux croyances religieuses, Boussinesq s'engage donc dans un débat sur la liberté morale. Cependant, il ne revendique jamais dans ses écrits publiés un quelconque enjeu métaphysique ou religieux ; comme le dit aussi Zerner (1994), c'est dans sa correspondance seulement que ressortent les arguments métaphysiques.

Boussinesq partageait avec son mentor Saint-Venant des convictions idéalistes et spiritualistes ; cela ne l'empêchait pas de s'intéresser à des questions de science appliquée, mais en faisait un penseur aux antipodes de l'empirisme et du positivisme très répandus à cette époque.

6.3 Cournot et Saint-Venant : le travail décrochant

Mathématicien, physicien, Adhémar-Jean-Claude Barré de Saint-Venant est aujourd'hui un nom peu connu malgré ses contributions centrales en mécanique des fluides, notamment une dérivation correcte de l'équation de Navier-Stokes qui précède de deux ans celle de Stokes lui-même. Boussinesq s'adresse à lui dans sa correspondance en l'appelant 'bien cher maître' ; nous savons, à travers la correspondance, que Saint-Venant était pour Boussinesq, de 45 ans plus jeune, une figure de référence, à la fois intellectuelle et morale. Boussinesq s'adresse à Saint-Venant pour des conseils politiques, techniques, ou personnelles, et Saint-Venant s'efforce d'aider son protégé dans sa carrière. Saint-Venant, comme Boussinesq, était intéressé par la dynamique des fluides et l'élasticité et appréciait les travaux de son disciple qu'il chaperonnait auprès des sociétés savantes de l'époque.

Saint-Venant avait une idée sur la conciliation entre liberté et déterminisme proche de celle de Boussinesq sous maints aspects, mais qui n'était pas tout à fait identique. Nous avons déjà fait référence aux tentatives de Saint-Venant de lire les solutions singulières de Boussinesq comme des sources possibles de miracles. Saint-Venant publie sa propre analyse visant à réconcilier libre arbitre et lois physiques dans la même période que Boussinesq. Il propose une idée plus nuancée que celle de son disciple

(Saint-Venant, 1877a), faisant appel à une ancienne idée de Cournot, le *travail décrochant*.

Le travail décrochant est une quantité extrêmement petite d'énergie, exprimée idéalement sous la forme d'une limite. L'idée serait celle d'une cause extrêmement petite capable d'engendrer un effet très grand, comme un petit poids qui en met en mouvement un grand, ou une petite étincelle qui enclenche une explosion. Ce rapport entre une extrême petitesse des causes par rapport aux effets, qui pourraient être dans un rapport tendant à zéro exploite une idée sensiblement différente de celle de Boussinesq. En effet, Boussinesq s'attaque à une particularité d'une classe d'équations admettant plus qu'une solution, et donc à un problème mathématique. Saint-Venant s'attaque au contraire au rapport entre mathématique et physique : prouver que le comportement physique est en accord avec une loi mathématique n'est possible que dans des limites de précision des instruments de mesure, des limites de précisions qui peuvent être très petits, mais qui existent toujours. Or, il est toujours possible qu'un brin d'énergie soit plus petit que cette limite, et donc inobservable par nous, néanmoins suffisant à déclencher un phénomène physique important, tel qu'une explosion. La faille dans le déterminisme laplacien ne provient pas dans ce cas, d'une particularité mathématique, mais de l'accord imparfait entre description mathématique et monde physique. À ce propos, la correspondance entre Boussinesq et Saint-Venant nous éclaire davantage sur la compréhension qu'ils avaient du pouvoir décrochant. Dans une lettre du 25 septembre 1877, Boussinesq écrit à Saint-Venant « vous admettez avec moi : 1 qu'il n'y a pas paradoxe à regarder le tout-petit des géomètres comme étant zéro pour le physicien ; d'où il suit que des forces analytiquement très petites, au-dessous d'une fort petite limite sont zéro pour le physicien 2 que, si j'introduis de petites forces supplémentaires, je peux avoir une bande au lieu d'une ligne, ou un petit rond au lieu d'un point. Or ces forces supplémentaires je peux, en les prenant assez petites, les rendre nulles pour le physicien sans qu'elles les soient pour le géomètre. ». Des affirmations similaires apparaissent dans d'autres lettres : le travail décrochant joue sur la frontière entre géométrie et physique d'une manière qui ne semble pas poser problème ni pour Boussinesq ni pour Saint-Venant.

Cependant, la solution trouvée par Boussinesq, à savoir les solutions singulières, réside dans la non-unicité des solutions aux équations de Laplace

et ne requiert donc pas de travail décrochant.

Saint-Venant saisit pleinement l'idée de Boussinesq, et reconnaît son originalité (Saint-Venant, 1877b), mais il préfère s'appuyer sur le cas où l'énergie libérée par un phénomène et celle nécessaire à engendrer ce même phénomène seraient dans un rapport presque infini. Saint-Venant nous dit que si ce rapport a pour limite l'infini dans le cas d'une explosion, alors ça pourrait aussi être le cas de notre cerveau qui, par des impulsions menues, pourrait générer des effets remarquables.

La différence avec Boussinesq est que dans le cas de Saint-Venant, il faut une énergie infiniment petite au service de l'indéterminisme (une 'minuscule étincelle'), alors que Boussinesq propose un mécanisme qui nécessite une quantité d'énergie strictement nulle.

Le point commun entre Saint-Venant et Boussinesq est qu'il est possible de déclencher un effet (ou de ne pas le faire) sans violer les lois de la mécanique; le choix d'action ou d'inaction permet de réconcilier les lois mécaniques avec la liberté d'action : c'est-à-dire que ce genre d'effets ne sont pas prédéterminés, et donc qu'on peut les considérer causés par notre volonté libre, sans que cette cause soit en conflit avec les lois mécaniques. Ces intuitions se lient aussi aux questions d'instabilité et de chaos, des idées qui commençaient à être étudiées durant cette période. Finalement, la solution de Boussinesq est plus 'conciliatoire' que celle de son maître, puisqu'elle n'implique aucun conflit avec les lois physiques connues, même en prenant ces lois au pied de la lettre. Certains auteurs ont compris cela comme une supériorité de la démarche de Boussinesq (Zerner, 1994).

Une idée semblable à celle de Saint-Venant avait déjà été avancée par Cournot (1982 [1861], p.223) : les forces vitales agiraient non pas en s'opposant à des phénomènes physiques, mais en les dirigeant, de façon analogue à l'action d'un homme qui crée l'étincelle engendrant une explosion. Nous avons vu que des métaphores de même goût ont été exploitées par Maxwell (Stanley, 2008). Chez Maxwell aussi, la volonté humaine est ressentie comme conflictuelle avec les lois de la nature : Maxwell essaie tout aussi que Saint-Venant de réconcilier l'action libre avec le déterminisme des lois de la nature par des images dans l'air du temps, en particulier l'idée d'actions menues capables d'engendrer des effets importants.

L'idée que le libre arbitre agisse en conformité avec les lois de la nature, et en même temps qu'il soit capable d'engendrer des effets considérables, tout

en étant une cause extrêmement petite ou nulle, est au cœur des réflexions autour du débat entre libre arbitre et déterminisme. En tout cas, la non-contradiction entre science et liberté est ressentie comme un enjeu primaire. La question est posée dans les termes de la priorité scientifique sur le débat philosophique : le libre arbitre peut exister uniquement s'il ne rentre pas en conflit avec les données de la science, et donc les scientifiques estiment nécessaire de trouver des solutions rendant compatibles leurs équations avec la liberté individuelle.

Enfin, le mémoire de Boussinesq, tout aussi bien que le travail décrochant de Saint-Venant, s'inscrivent dans une idée inexprimée, mais présente de réductionnisme : Saint-Venant comme Boussinesq pensent que tout phénomène se réduit à de la mécanique.

6.4 La réponse de Bertrand

L'histoire du mémoire de Boussinesq ne s'arrête pas là ; en septembre 1878, Joseph Bertrand publie un court article (Bertrand, 1878) dans le *Journal des Savants* à propos du mémoire. Le ton de l'article est fort polémique et empli de sarcasme ; il attaque Boussinesq sur son idée de pouvoir directeur, censé 'décider' le chemin qu'un mobile va suivre. Bertrand tourne l'idée en ridicule, et estime absurde d'accorder un pouvoir directeur à un objet uniquement à cause de l'insuffisance des équations qui le décrivent.

Pour Bertrand, l'existence de solutions singulières représente une défaillance des équations qui s'avèrent insuffisantes pour tout expliquer, mais qui en aucun cas ne justifient l'introduction d'un principe directeur.

Buridan, par la combinaison ingénieuse des conditions dans lesquelles il place son âne, croit pouvoir supprimer chez lui la liberté. M. Boussinesq, au contraire, conçoit savamment un système matériel et inerte qui se trouverait tout à coup doué de volonté et capable de choisir entre deux mouvements possibles, par la seule raison que les équations sont indéterminées, et qu'il est indispensable de suppléer à leur insuffisance (Bertrand, 1878, p. 517).

Pour Bertrand, un cas d'indéterminisme des équations n'a point besoin d'être comblé par un principe directeur quelconque. Il souligne implicitement à quel point Boussinesq est prisonnier de l'image déterministe : au

moment même où il trouve une faille dans les équations, il ressent le besoin d'y ajouter davantage de détermination.

La critique de Bertrand est dévastatrice et tourne en ridicule l'idée de Boussinesq. Le renversement de position vis-à-vis de la liberté est tout particulièrement intéressant : pour Boussinesq, les solutions singulières et la défaillance du déterminisme permettent l'existence de la liberté. Pour Bertrand, c'est tout le contraire : la défaillance du déterminisme au niveau de la nature serait perçue comme une défaillance de la causalité. Or, pour Bertrand, l'homme nécessite de la causalité pour pouvoir exercer son libre arbitre. Il se presse donc de nier le caractère physique des solutions singulières de Boussinesq ; pour Bertrand les solutions singulières ne sont que des artifices mathématiques qui n'ont pas d'équivalent dans le monde réel.

La différence cruciale entre les deux est liée au rôle que les mathématiques sont censées jouer : à l'opposé de Boussinesq, Bertrand ne croit pas que les phénomènes physico-chimiques puissent « se réduire à des équations » comme Boussinesq l'écrit. Les équations décrivent des phénomènes, et elles devraient donc correspondre aux phénomènes. Mais si ce n'est pas le cas, il s'agit d'une défaillance des mathématiques, plutôt que d'une découverte sur une possible source d'indéterminisme dans le monde. Pour Bertrand, le monde physique est plus complet et plus complexe que des équations, et les mathématiques ne peuvent que décrire approximativement le monde réel. Si des équations présentent un paradoxe de non-unicité, cela n'implique pas forcément des conséquences sur le monde physique. Les mathématiques n'ont pas forcément de correspondant biunivoque dans le monde réel.

Bertrand insiste sur d'autres cas de défaillance des mathématiques, en concluant qu'il s'agit d'habitude d'un excès d'abstraction et d'idéalisation des faits. À cet égard, il fournit l'exemple d'une table à quatre pieds qui est très parlant : Bertrand nous explique que la force exercée par chaque pied d'une table est indéterminée mathématiquement, mais que cela ne change pas le fait qu'on peut la mesurer, et donc qu'elle est physiquement déterminée.

Quand une table rigide et pesante repose par plus de trois pieds sur un sol parfaitement dur, l'effort supporté par chaque pied est indéterminé. Le calcul l'affirme, mais ni les physiciens ni les géomètres ne l'ont cru un instant ; ils se sont bien gardés surtout

de supposer à chaque pied la faculté de choisir, en lui prêtant une volonté devenue indispensable (Bertrand, 1878, p. 520).

Bertrand nous rappelle que dans le cas particulier illustré par Boussinesq, on doit notamment faire face à des équilibres instables, équilibres qui ne peuvent exister que dans le cas de surfaces infiniment polies et parfaitement symétriques. Si l'on introduit par exemple les frottements, la solution singulière disparaît, comme Boussinesq lui-même le remarque. Bertrand attaque donc le rapport entre mathématique et réalité, en montrant qu'il s'agit d'un rapport idéal, qui ne saurait avoir une traduction parfaite dans le monde physique. Une entité mathématique n'a pas obligatoirement d'existence physique⁶.

Néanmoins, Bertrand est tout aussi prisonnier du cadre de pensée déterministe que Boussinesq, quoique d'une manière différente. Tout particulièrement, les idées réductionnistes et mécanicistes ne sont jamais remises en doute. Pour Boussinesq, les mathématiques sont Langage de la Nature ; pour Bertrand, elles sont langage du scientifique. Pour Bertrand, si les mathématiques échouent, comme pour tout instrument, ce qu'il faut changer c'est l'instrument ; cela arrive parfois : c'est le prix à payer lorsqu'un instrument s'avère mal adapté à la tâche à laquelle on voudrait l'employer.

[...]les équations différentielles du mouvement peuvent avoir, dans des conditions précises et déterminées, deux solutions différentes. Mais l'existence des deux solutions montre [...] que les formules sont dans ce cas insuffisantes et incomplètes, et qu'il faut se garder de les substituer à la nature sans y admettre aucune distinction. Quoique la mécanique soit, entre les sciences physiques, la plus approchant de la vérité, elle n'y atteint pas en toute rigueur (Bertrand, 1878, p. 520-521)

Le différend porte sur le troisième point du triptyque laplacien, la nature des mathématiques. Dans le cas de Boussinesq, l'acceptation des mathématiques comme Langage de la Nature permet de déduire d'une propriété des équations une conséquence philosophique forte, l'indéterminisme. Pour Bertrand, qui ne veut pas renoncer au déterminisme, il faut assouplir le lien entre mathématiques et réalité en vue de la découverte de Boussinesq.

6. La position de Bertrand est à notre avis étonnamment moderne, spécialement en ce qui concerne sa vision de la causalité, mais aussi sur l'adéquation des mathématiques dans la description du réel.

Étonnamment, Bertrand ne cite pas le travail décrochant de Saint-Venant ; l'article de Bertrand est pourtant publié avec un délai de plus d'un an par rapport aux interventions de Saint-Venant. Une réaction aurait été intéressante, dans la mesure où Saint-Venant s'appuie sur un argument qui échappe à la critique de Bertrand. En effet, le travail décrochant est un concept qui affaiblit la jonction entre mathématiques et réalité en introduisant des impulsions, des quantités d'énergie infiniment petites, capables d'enclencher des réactions importantes. Un tel choix argumentatif ne peut pas être taxé de « substituer les équations à la nature » et demeure une objection valable même pour quelqu'un qui défendrait la position de Bertrand.

Boussinesq (1879c) répond à Bertrand sur un ton plus calme que son interlocuteur ; il s'efforce de donner quelques précisions sur le but de son travail. Il souligne encore une fois que, bien que le problème des solutions singulières ait été exploré en premier par Poisson, il est resté majoritairement inconnu par la communauté des mathématiciens. Le but de son travail serait donc de faire connaître cette difficulté. La réponse de Boussinesq montre une bonne compréhension des objections de Bertrand, mais elle n'ajoute que très peu d'informations au débat. Boussinesq se borne à réaffirmer ses idées proches du vitalisme, sans vraiment y ajouter du nouveau. L'impression qu'on en tire est plutôt que les deux ne peuvent pas s'accorder sur le point réellement en jeu ici, c'est-à-dire le déterminisme des lois physiques. Pour Boussinesq le déterminisme est perçu comme une menace pour la liberté humaine, et il est donc impératif de trouver une échappatoire. Pour Bertrand le déterminisme est incontournable, dans la mesure où il s'agit du mécanisme causal qui assure la possibilité de réaliser sa propre volonté. L'exemple de l'âne de Buridan est très parlant à cet égard : ce qui semble être - pour Boussinesq - une possibilité de rétablir le libre arbitre, paraît aux yeux de Bertrand s'y opposer complètement.

En effet, d'un côté le déterminisme laplacien implique qu'on dispose d'un instrument adéquat, un instrument qui permet de prédire et de décrire le monde de manière univoque. De l'autre, ça implique que le futur qu'on est capable de prédire est le seul possible. Il est très difficile de renoncer à un aspect sans renoncer à l'autre, surtout dans la mesure où il est très difficile de séparer les mathématiques de la physique, deux disciplines qui se sont développées côte à côte. L'instrument mathématique joue alternati-

vement les deux rôles, descriptif et ontologique, instrument du scientifique et Langage de la Nature, et il les joue en même temps, sans une séparation nette ; en conséquence, le déterminisme Laplacien est à la fois contrainte et garantie pour la liberté individuelle, et on peut difficilement renoncer à l'une sans renoncer à l'autre.

Il n'est donc pas étonnant que la réponse de Boussinesq à Bertrand soit si faible, et qu'elle se borne au fond à répéter ce qui est déjà dit dans son mémoire : c'est un discours entre sourds, dans lequel ce qui est en jeu n'est pas tellement la liberté humaine, mais le rôle que les mathématiques jouent dans la modélisation des phénomènes physiques.

6.5 Le débat philosophique autour du mémoire de Boussinesq

Comme nous l'avons vu, le mémoire de Boussinesq s'inscrit dans une discussion plus vaste sur les rapports entre science et liberté ; Maxwell, Saint-Venant, ou encore Philippe Breton avaient donné des contributions importantes à ce débat avant que le mémoire de Boussinesq ne soit présenté. Par ailleurs, certains des historiens qui se sont penchés sur le mémoire de Boussinesq le voient plutôt comme la clôture d'un débat que comme un de ses sommets (Israel, 1991; Van Strien, 2014). Israel (1991) affirme même que « [l]a riflessione di Boussinesq può essere considerata come uno degli ultimi tentativi di sviluppare un'analisi del determinismo inerente alla teoria delle equazioni differenziali [...] attribuendo un significato reale ai risultati tecnici di tale teoria (ibid. p. 352) »⁷.

Que le mémoire sur les points de bifurcation ait été un tournant important dans le débat sur le déterminisme et sa compatibilité avec la physique nous le pensons aussi, mais nous allons tâcher de le lire autrement que comme un point final à la question. En effet, dans les années qui suivirent il y eut un certain nombre d'articles, pour la plupart parus dans la *Revue philosophique de la France et de l'étranger* qui sans véritablement être des discussions centrées sur le mémoire de Boussinesq le citent et le discutent de

7. Paradoxalement pléthore d'auteurs semble s'être coalisée ces dernières années pour démentir le propos d'Israel autour du débat sur le dôme de John Norton. Voir annexe A ; voir aussi (Van Strien, 2014) pour une analyse comparée de l'approche de Boussinesq et de sa reprise contemporaine.

moins en partie. Nous ne pouvons donc pas affirmer que ces articles sont une suite au mémoire de Boussinesq, puisqu'ils ne se revendiquent pas comme tels et qu'ils ne traitent souvent la question des bifurcations que dans quelques pages. Cependant, ils représentent une suite logique au débat sur la compatibilité entre science et liberté et se situent dans le même sillon que le mémoire de Boussinesq.

Nous allons démarrer notre discussion par l'analyse d'articles de Charles Renouvier, un philosophe français dont nous avons déjà discuté au chapitre 3, défenseur du libre arbitre, bien que, comme nous le dit Zerner (1994) anticatholique militant. Deux des articles de Renouvier (1882a,b) sont reproduits comme 'préface' de l'édition de 1922 de Boussinesq.

Avant même d'en venir à ces deux articles, Renouvier publia un article en deux parties (Renouvier, 1880b,c) traitant du déterminisme statistique, mais qui dans l'introduction distingue deux façons de fonder le déterminisme et notamment outre le déterminisme statistique celle qui « à l'aide d'une induction absolue tirée de la loi de la conservation des forces (Renouvier, 1880c, p.27) », permet de conclure en faveur du déterminisme. Aucune mention directe de Boussinesq ni de Saint-Venant ou d'un quelconque autre auteur n'est faite, mais on peut deviner l'ombre de Laplace derrière l'affirmation de Renouvier.

Dans les trois articles de 1882, Renouvier reconnaît l'intérêt du travail de Boussinesq, tout en ne lui épargnant pas des critiques. Tout en étant un défenseur convaincu du libre arbitre, il comprend la difficulté de réconcilier l'image du monde venant de la science mécanique avec le libre arbitre. Renouvier se penche dans le premier de ses articles sur un discours de Émile du Bois-Raymond, tenu à l'Académie royale des sciences de Prusse en 1882, dans lequel le philosophe allemand avait formulé une liste de sept limites du savoir scientifique, dont le dernier était le libre arbitre. Les deux articles suivants se concentrent en revanche de façon plus spécifique sur Boussinesq et Saint-Venant.

C'est l'occasion pour Renouvier de passer en revue les idées de Boussinesq et Saint-Venant, dont il montre une bonne compréhension. Contre Saint-Venant, il remarque la différence qu'il y a entre une force très petite et une force nulle⁸ : si la deuxième n'implique pas de création spontanée ni

8. Il y a ici une source de confusion possible. Renouvier parle de petites forces capables d'amorcer un mouvement. Ces petites forces sont parfois conceptualisées en termes d'éner-

de violation des lois physiques, ce n'est pas le cas de la première.

À propos des bifurcations, la critique du philosophe se concentre sur l'usage des mathématiques fait par Boussinesq. Il remarque tout particulièrement que le statut de loi ne doit pas forcément se comprendre au sens absolu que lui donne Boussinesq. En ce qui concerne l'instrument analytique, il doute que les mathématiques puissent effectivement tout représenter dans le monde.

[E]lle [l'induction du cas réel aux lois générales] peut aller extrêmement loin et jusqu'à assujettir (en idée) tous les mobiles imaginables à l'obligation de satisfaire à des équations différentielles du mouvement [...] Mais est-on forcé de croire que la loi de conservation est absolue, qu'elle n'est pas seulement ce que sont les pures lois géométriques, une abstraction que l'expérience vérifie et reçoit comme règle, mais dont l'ordre concret des choses ne souffre jamais une exacte réalisation ? (Renouvier, 1882b, p. 348)

Ce que Renouvier conteste, c'est le passage des mathématiques comme une expression approchée et idéalisée du monde, aux mathématiques comme une traduction exacte et parfaite du monde. Il ne conteste point la première affirmation qui se trouve effectivement être corroboré par l'expérience, mais n'accepte pas la deuxième. Il remarque notamment que cette idée de mathématiques relève d'un a priori de Boussinesq. De même, la conviction dans un déterminisme absolu est, pour Renouvier, une pétition de principe qui n'est pas prouvée par la science, ce qui implique qu'il n'est nullement nécessaire de la réconcilier avec la science.

[Le déterminisme absolu et universel] est un déterminisme préconçu qui s'introduit dans l'interprétation des lois scientifiques et leur donne un caractère auquel d'elles-mêmes elles ne pourraient jamais prétendre (ibid. p. 349).

Renouvier ne critique donc pas l'argument de Boussinesq pour sa cohérence logique, mais en remet en cause le besoin.

gie et de conservation de l'énergie, parfois en termes mécaniques comme véritables forces. Le tout est compliqué par l'usage du terme 'forces vives' qui, abrégé en 'forces', rend la discussion ambiguë. Renouvier nous semble bien comprendre la différence entre ces deux concepts, mais la prudence s'impose.

La critique la plus marquante de Renouvier est celle contre l'universalité des lois mécaniques. Pour Renouvier les lois mécaniques sont des abstractions qui n'ont tout de même pas une validité absolue.

Le statut de loi scientifique en ressort affaibli : Renouvier n'accepte pas de voir en une loi autre chose que l'expression d'une régularité de la nature. Rabattre une régularité, par le biais de l'induction, sur un plan ontologique, et en faire le genre de loi dont parle Boussinesq, une loi de la nature, prédictive et causale, capable de nous dire comment est fait le monde paraît à Renouvier un pas excessivement long.

Si la position de Boussinesq est donc un choix métaphysique possible, Renouvier nous dit qu'il n'y a nulle raison de souscrire à une telle métaphysique ; bien sûr, c'est un choix possible, mais ce n'est pas un choix nécessaire. Au fond, une partie du problème de Boussinesq est conséquence de ses convictions métaphysiques, et donc Boussinesq crée lui-même son propre problème. Pourtant, de telles convictions ne vont pas de soi, et ne sont pas prouvées par la science, mais plutôt présumées par celle-ci. Accepter les lois au sens causal et ontologique est la source du problème de Boussinesq. Renouvier suggère que cela n'est point nécessaire, et que si l'on n'accepte pas une interprétation causale et absolue des lois mécaniques, la conciliation de Boussinesq n'est nullement nécessaire.

Renouvier se montre donc lecteur attentif et critique ; il ne souscrit pas entièrement aux positions de Boussinesq, même si elles vont dans la direction de ses propres convictions en ce qui concerne le libre arbitre. Il est pleinement conscient du rôle que la mathématisation joue dans notre conviction d'un déterminisme absolu, et il s'efforce de montrer que ce passage logique est pour le moins douteux.

En même temps, il n'hésite pas à exploiter l'argument de Saint-Venant et de Boussinesq dans une querelle contre Fouillée (Renouvier, 1883) ; dans cet article, il creuse davantage la question de ce qu'est une loi, et de l'impossibilité de parvenir à une loi causale par l'induction ; si l'idée de Boussinesq est donc intéressante, Renouvier maintient néanmoins que l'échec de son programme ne serait en aucun cas une preuve contre le libre arbitre.

La question soulevée par Boussinesq, d'une conciliation entre physique et libre arbitre, ne suscite pas uniquement l'intérêt de Renouvier ; l'année même de la réponse de Boussinesq à Bertrand, la *Revue Philosophique de la France et de l'Étranger* publie deux interventions, l'une de Naville (1879),

l'autre de Tannery (1879a,b).

Ernest Naville⁹ essaiera notamment une conciliation entre les lois physiques et le libre arbitre qui reprend en partie les arguments de Cournot sur la possibilité pour l'homme de faire usage des forces au sens d'un déclencheur de phénomènes. Il souligne aussi que les phénomènes physiques sont indifférents à la direction ; par exemple, une planète peut tourner dans un sens horaire ou antihoraire indistinctement, sans violer aucune loi de mouvement, ce qui laisse de la place à une forme d'indétermination. L'indétermination est due au fait que chacune des directions du mouvement implique une même quantité d'énergie, et donc toutes deux sont potentiellement possibles. C'est la volonté libre des hommes qui décide comment employer une force, c'est-à-dire qui dirige les phénomènes, sans pour autant pouvoir créer de l'énergie. L'idée est analogue à celle de Boussinesq, dans la mesure où le but des arguments de Naville est de montrer que tout n'est pas déterminé par les lois de la mécanique, et il y a donc une place pour le libre arbitre. Cependant, la solution proposée par Naville est bien différente de celle de Boussinesq. Naville cite Boussinesq, en montrant être au courant de ses travaux.

Paul Tannery¹⁰ s'intéresse davantage à la connaissance mathématique dans son ensemble ; néanmoins dans son long article, dédié à l'œuvre du mathématicien Schmitz-Dumont *Die mathematischen Elemente der Erkenntnistheorie : Grundriss einer Philosophie der mathematischen Wissenschaften*, il cite Boussinesq et Naville. Sa critique de Boussinesq est d'ordre technique : il estime que la possibilité de solutions mathématiques n'ayant pas de signification physique est assez courante, et que l'argument de Boussinesq n'a pas grand chance d'impressionner les mathématiciens. Il conclut son article en affirmant que le déterminisme absolu apparaît dans les conclusions des scientifiques parce qu'il l'ont mis dans leurs hypothèses : il ne s'agit donc pas d'un fait qu'on aurait prouvé scientifiquement. En ce sens, il est proche de certaines affirmations de Renouvier sur la nature de la science.

9. Ernest Naville (1816-1909) fut professeur d'histoire de la philosophie à Genève entre 1844 et 1848, puis professeur d'apologétique en 1860. Il eut une histoire académique difficile à cause de différends politiques. De foi protestante, il fut un conférencier d'envergure et une figure importante de la philosophie francophone, membre étranger de l'Institut.

10. Paul Tannery, ingénieur français, fut aussi un historien de sciences amateur qui obtint une remarquable réputation malgré les limitations temporelles que son travail imposait à ses intérêts. Très prolifique, il publia des centaines d'articles sur l'histoire des mathématiques, sur des sujets disparates, mais avec une prédilection pour l'histoire antique.

Boussinesq répondra à Tannery dans un ouvrage intitulé *Études sur divers points de la philosophie des sciences* où il est question de plusieurs problèmes, dont des commentaires et précis sur la question du libre arbitre. Les quelques pages dédiées à Tannery se penchent sur des questions de détail. Seule information à retenir, Boussinesq reconnaît ouvertement que son travail s'inscrit dans la lignée du vitalisme, en donnant à cette ancienne idée une nouvelle force.

Plus discrète, puisqu'inédite, mais tout aussi intéressante, est l'objection d'Alfred Espinas envers Boussinesq dans une lettre du 15 janvier 1879. Espinas est un savant français, auteur entre autres d'une *Histoire des doctrines économiques* (Espinas, 1891). La lettre fait référence à une communication précédente dont nous n'avons pas trouvé de traces¹¹. Espinas critique Boussinesq sur deux points : tout d'abord, il faut montrer que des cas d'indétermination ont effectivement lieu en nature, ensuite que ces cas ont lieu dans les vivants et pas ailleurs.

Même année, autre réaction : c'est cette fois le père Carbonnelle, sur la *Revue des questions scientifiques*, qui discute la question du libre arbitre dans sa rubrique *L'aveuglement scientifique* ; il dédie à Boussinesq deux épisodes de la rubrique (Carbonnelle, 1879a,b). Carbonnelle, un jésuite belge, connu comme l'un des rares clergés à avoir défendu la théorie de l'évolution de Darwin, analyse dans son article la question de la compatibilité entre libre arbitre et science, en prenant ouvertement position contre l'idée que le libre arbitre serait en contradiction avec la connaissance scientifique. Néanmoins, Carbonnelle n'est pas enthousiasmé par la solution de Boussinesq, tout en reconnaissant la qualité de l'étude et l'intérêt mathématique. En effet, Carbonnelle remarque que les solutions de Boussinesq sont instables : une petite perturbation de l'extérieur suffit à les faire disparaître. En cela, bien qu'elles soient des solutions possibles des équations, elles ne sont jamais réalisées dans des cas physiques. Carbonnelle rajoute que le seul cas d'une solution instable qui ne serait pas perturbée serait celle ou l'on considérerait la totalité de l'univers, et il n'y aurait donc plus de perturbations externes ; dans ce cas, une solution instable serait physiquement possible. Carbonnelle semble cependant exclure qu'un tel cas soit une solution au problème du libre arbitre. La structure de la remarque est la suivante : supposez qu'un

11. La lettre n'est pas suffisamment claire à ce propos : il pourrait s'agir d'une correspondance précédente, d'un texte publié ou d'une rencontre informelle

atome de notre cerveau soit sur une trajectoire singulière, et que par mon libre arbitre (le pouvoir directeur), je puisse décider si oui ou non l'atome va abandonner sa trajectoire. Or, il faut pour cela que durant la période où je décide de sa trajectoire (disons une seconde), cet atome demeure dans un état instable, et qu'à chaque instant de cette période, je puisse à mon gré lui faire poursuivre un chemin ou un autre. Cependant, nous dit Carbonnelle, un tel atome, s'il est dans un cas d'indétermination à la Boussinesq, il est sur une trajectoire qui est susceptible de changer à la moindre perturbation. Or, durant cette seconde où je peux agir suivant mon gré, d'autres faits se passent dans l'univers, d'autres individus libres agissent qui, bien qu'ayant un effet peut-être très petit sur mon cerveau, suffisent à perturber un équilibre instable. Cela veut dire que des actions d'autres agents autour de moi peuvent changer le résultat de ce qui arrive à cet atome dans mon cerveau, malgré moi et par des forces mécaniques. Carbonnelle en conclut que :

Ou bien donc je n'étais pas libre pendant cette seconde, puisque mon action pouvait être arbitrairement changée sans mon consentement par un autre ; ou bien cet autre ne l'était pas, puisqu'il ne pouvait lui-même modifier ses actions. (Carbonnelle, 1879b, p. 205)

La logique de Carbonnelle est impitoyable, et pointe du doigt un défaut majeur de l'argument de Boussinesq. Boussinesq répond dans son ouvrage philosophique (Boussinesq, 1879b, p. 106) ; il suggère qu'un mobile sur une trajectoire singulière pourrait s'il est perturbé, rejoindre d'autres trajectoires singulières ; de plus, certaines solutions singulières ne sont pas du genre d'un équilibre instable qui perdure ou est abandonné, mais sont des véritables points de bifurcation. La réponse de Boussinesq est plutôt alambiquée, et la difficulté de calcul liée à ce genre de solutions prime sur la possibilité de s'appuyer sur des exemples concrets, en obligeant le débat sur un terrain entièrement spéculatif.

Dans le même ouvrage, Boussinesq insiste encore une fois sur le caractère 'physique et non métaphysique' de son mémoire et donne quelques précisions sur les rapports entre monde physique et mathématique, qui n'ajoutent pas d'éléments substantiels à notre argument.

En 1882, le mathématicien et philosophe belge Joseph Delboeuf¹² écrit

12. Joseph Delboeuf, mathématicien et philosophe est majoritairement reconnu comme

un long article, séparé en trois parties pour la *Revue Philosophique* (Delboeuf, 1882b,a,c). Delboeuf critique âprement Boussinesq et Saint-Venant : contre le deuxième, il explique qu'un travail aussi petit que l'on veut n'est pas un travail nul pour autant, et que la solution viole donc bel et bien les lois de la mécanique. Cet argument nous paraît aller au cœur du problème ; toute la légitimité du travail décrochant de Saint-Venant repose sur l'idée que l'infiniment petit mathématique est physiquement égal à zéro, et donc qu'une énergie infiniment petite peut être générée par l'esprit sans violer les lois de la physique et notamment la conservation de l'énergie. Delboeuf refuse cette position : une différence infiniment petite est pour lui une différence non nulle, même au niveau physique. Cependant, il n'est pas entièrement clair si Delboeuf comprend la différence entre l'argument de Saint-Venant et celui de Boussinesq.

En ce qui concerne Boussinesq, il estime que sa solution n'est pas crédible, et s'appuie en cela sur l'article de Bertrand. Delboeuf ne semble pas avoir entièrement saisi la particularité des idées de Boussinesq : tout spécialement il ne semble pas saisir que les solutions singulières demandent des équations très particulières et ne sont pas tout simplement des équilibres instables. Sa critique nous paraît donc ne pas rendre justice à l'idée de Boussinesq. En revanche, il est plus pertinent lorsqu'il remarque que Boussinesq traite « comme des réalités de véritables abstractions mathématiques (Delboeuf, 1882b, p. 470) », en ayant donc en partie dans la direction de Renouvier et Bertrand.

Delboeuf propose sa propre solution au problème du libre arbitre. Son idée nous paraît à vrai dire un peu embrouillée par moments, et si elle fait preuve d'une remarquable originalité, elle est sous certains aspects étrange et prêtant à confusion. Dans son deuxième article, Delboeuf (1882a) illustre une version colorée et argumentée du deuxième principe de la thermodynamique. L'idée est, pour l'auteur, de montrer que du premier principe (la conservation de l'énergie) ne suit pas « la possibilité des prédictions, ni, partant, le déterminisme. (p. 623) ». Delboeuf semble assimiler le déterminisme de Laplace à la conservation de l'énergie (ce qui paraît pour le moins discutable), ainsi que déterminisme et prévisibilité. Cet amalgame appelle à quelques précautions. Le cœur de l'argument de Delboeuf qui, lui, nous semble en revanche fort intéressant, c'est de définir le temps comme

étant l'un des pionniers de la psychologie.

« mesure de l'activité transformatrice universelle (p. 622) », c'est-à-dire que le temps est pour lui la mesure du changement irréversible. Cette idée de temps contraste avec le temps mécanique et réversible qui est effectivement sous-tendu par la mécanique de Laplace. En ce sens, la critique de Delboeuf se rapproche de celle de Phiippe Breton sur la réversion.

Ce qui manque chez Delboeuf c'est une compréhension de la nature statistique du deuxième principe. Delboeuf estime que les individus libres sont ceux capables de suspendre leur action dans le temps. Encore une fois, il y a un problème de clarté à ce propos :

[...] il suffit que l'individu ait la faculté de suspendre son action, c'est-à-dire de ne pas répondre immédiatement à l'excitation qui le sollicite, et de retarder le moment où il déploiera la force qui est emmagasinée à l'état de tension. Par ce retard, il n'engendre évidemment pas de forces ; (Delboeuf, 1882a, p. 625)

Cela paraît contradictoire avec la nature des lois physiques, dans la mesure où celles-ci prévoient un enchaînement continu des causes et des effets. Ainsi, le deuxième point de l'argument de Delboeuf consiste à montrer que la continuité est le propre des faits physiques, mais que la discontinuité existe en nature et caractérise les êtres libres.

il y a discontinuité dans la trajectoire d'un mobile à l'instant où sa direction et sa vitesse cessent d'être la conséquence immédiate de son mouvement antérieur (op. cit. p. 626)

La discontinuité n'est donc pas dans la trajectoire, mais dans la vitesse d'un mobile. L'action discontinue brise la structure causale, c'est-à-dire, dans l'interprétation de Delboeuf, le fait que « la cause est toute entière dans ses effets (Delboeuf, 1882a, p. 614) ». Ce qui nous semble peu clair c'est que Delboeuf n'explique pas de quelle façon ce retard dans l'action peut être rendu compatible avec les lois de la physique. Il semble suggérer que l'énergie cinétique d'un mouvement à accomplir peut être "retenue" sous forme potentielle par un être sentant. Cependant, même en supposant que cette idée soit cohérente avec le premier principe, ce qui est loin d'être clair, elle n'est certainement pas compatible avec les lois de Newton (de conservation de la quantité de mouvement par exemple).

L'argument de Delboeuf est à vrai dire assez surprenant : à plusieurs endroits, il réfléchit sur la structure continue et sur la nature des entités

géométriques ; on y devine l'intuition que la discontinuité des fonctions et l'imprévisibilité des phénomènes seraient des concepts allant de pair. Il y a aussi quelques idées manifestement erronées : par exemple, à propos du démon de Laplace il affirme que « cette intelligence n'aurait besoin, si la nature est un mécanisme, que de considérer pendant un temps fini, si court qu'il soit, la marche d'une portion de matière, aussi petite que l'on voudra (op. cit. p. 627) ». Cette idée est défendue par Delboeuf en affirmant que chaque portion de matière subit instantanément les changements de tout le reste de l'univers, et donc une connaissance absolue d'une petite portion de matière nous informerait sur la totalité. L'hypothèse nous semble douteuse, même en supposant les actions comme instantanées, et diffère en tout cas de l'intuition de Laplace qui ne dit pas cela. Finalement, l'imprévisibilité pour Delboeuf se lie à la structure discontinue des phénomènes, et est donc indépendante de la connaissance subjective ; en ce sens, la nature même de cette imprévisibilité n'est pas celle de Laplace, d'une méconnaissance du sujet, mais réside entièrement dans la nature.

Ce qui est fort intéressant, c'est à la fois l'originalité de la démarche, avec un rapport direct entre discontinuité et action libre, ainsi que des références à l'idée de dégradation de l'énergie.

En particulier, Delboeuf exploite l'argument de Saint-Venant dans un sens évolutif : il affirme que les hommes apprennent de mieux en mieux à utiliser peu d'énergie pour accomplir des actions importantes : si donc l'énergie utile de l'univers diminue constamment (le concept d'énergie utile est explicitement lié au deuxième principe avec une référence à Carnot), un usage de moins en moins important de celle-ci peut, suivant Delboeuf, garantir une existence indéfinie des êtres libres. Ainsi le pouvoir décrochant de Saint-Venant serait approché par l'amélioration continue des capacités humaines. Delboeuf espère pouvoir s'accommoder de la disponibilité décroissante d'énergie 'utile'. Il fait référence à la mort thermique du système solaire et au besoin de se plier « à la pénurie des ressources que nous fourniront la Terre refroidie et un Soleil presque éteint (op. cit. p. 187) ». Visiblement, il n'a pas entièrement saisi le sens du deuxième principe.

Or, à mesure que la quantité d'énergie disponible dans l'univers diminue, si l'art de l'appliquer à nos usages avec économie va croissant, on peut assurer à l'intelligence et à la liberté une existence indéfinie dans l'avenir, comme elles en ont une dans le

passé (Delboeuf, 1882c, p.189)

Le deuxième principe fait donc son apparition dans le débat sur la conservation de l'énergie ; il est intéressant de remarquer que celui-ci est entré de plein droit dans les discussions sur le déterminisme.

Le même journal (Revue philosophique) publie un article critique sur le travail de Delboeuf (Grocler, 1882), dans laquelle M. Grocler¹³ discute les articles de Delboeuf et polémise avec l'auteur ; les réponses de Delboeuf sont en note de bas de page, mais elles ne rajoutent pas beaucoup à la discussion.

Un article de Fouillée (Fouillée, 1882) vient rajouter des nouveaux éléments au débat : Fouillée estime que l'intelligibilité du monde et la coordination entre individus nécessitent un certain déterminisme. Le fait même de pouvoir comparer nos connaissances implique qu'il y ait une base commune sur laquelle ces connaissances ont été érigées : cette base est l'idée de causalité. Fouillée ne s'exprime pas de façon tranchée sur l'existence du libre arbitre, mais il démolit systématiquement toute tentative de le justifier du point de vue de la mécanique. Il conclut en affirmant que c'est insensé de chercher une justification mathématique, puisque les mathématiques « ne s'appliquent qu'aux rapports extérieurs des choses, sans nous en révéler l'intérieur (p. 617) » ; il reprend d'ailleurs des propos presque identiques dans la troisième édition de son livre *La liberté et le déterminisme* (Fouillée, 1890). Un an plus tard, Fouillée (1883) publie un article dans lequel il discute la possibilité que le libre arbitre soit la conséquence de phénomènes purement aléatoires. Il cite notamment Buckle, Mill et Laplace et il fait référence à Quetelet : il réfute en particulier un certain nombre d'objections qui ont été mues au déterminisme statistique (voir au chapitre 3).

Pourtant, Fouillée n'est pas strictement déterministe : sa position penche vers l'idée que le déterminisme soit une analyse objective des causes passées qui ont engendré le présent, alors que nous pensons au futur subjectivement : c'est cette vision subjective qui nous le fait penser sous la forme de la liberté. Le déterminisme est donc conséquence d'une approche objectivée aux phénomènes, c'est-à-dire du fait de les regarder d'en dehors, alors que le libre arbitre est la conséquence d'un point de vue subjectivé, soit de le regarder de notre propre point de vue. Or, ces deux points de vue sont com-

13. M. Grocler est un savant dont nous n'avons pas pu trouver d'autres traces que celle-ci, et on ignore donc la profession, le prénom et la nationalité.

plémentaires, et aucun d'entre eux ne peut prévaloir. En ce sens, Fouillée est un précurseur d'une forme de compatibilisme entre déterminisme et libre arbitre assurément originale.

Le problème de réconcilier déterminisme mécanique et libre arbitre ne disparut pas, malgré la réfutation des idées de Boussinesq de la part de nombreux savants ; elle eut notamment un impact en sociologie : par exemple, nous trouvons une référence au débat Boussinesq-Fouillée-Delboeuf dans un travail de sociologie criminelle de Ferri (1900, p. 474), un criminologue socialiste, élève de Cesare Lombroso. Le même travail cite quelques paragraphes après Henri Thomas Buckle comme un deuxième exemple de débat sur le déterminisme en venant une fois de plus confirmer l'interdépendance des débats issus des statistiques et de la physique. Ferri essaie de montrer que le déterminisme s'applique aux faits sociaux et sa référence qui comprend aussi Saint-Venant et Grocier laisse penser que Ferri devait avoir lu ces auteurs, et qu'il les estimait pertinents pour son sujet, la sociologie.

La question de la conciliation entre mécanisme et liberté demeura un sujet d'intérêt pendant plusieurs années : nous retrouvons, par exemple, des analyses détaillées des idées sur la conciliation entre liberté et mécanique dans des travaux du début XX (Fargen, 1902). Du côté italien, on peut citer Calò, qui tout en se bornant à résumer les arguments des différents acteurs du débat, le voit en 1907 comme une discussion encore ouverte. Du côté français ce n'en est pas pour autant terminé : par exemple, Freycinet (1896) écrit dans son *Essais sur la philosophie des sciences* un chapitre où il prend position en défense des idées de Boussinesq.

Un travail vient quelque part clore le débat : c'est la thèse de doctorat de Marius Couilhac, intitulée *La liberté et la conservation de l'énergie* (Couilhac, 1897). On y retrouve une analyse extrêmement détaillée des thèses de Boussinesq, Saint-Venant, Delboeuf, Fouillée, qui tout en étant discutées avec soin n'apportent pas d'éléments nouveaux. Couilhac renvoie le lecteur en particulier aux idées de Philippe Breton et reprend l'argument de la réversibilité.

Au moment de la thèse de Couilhac, l'explication de l'irréversibilité était donnée en termes de probabilités. Couilhac était au courant de cette explication, mais il ne l'accepte pas ; pour lui, un phénomène et sa renversée temporelle ont une même probabilité

Le phénomène direct et le phénomène réverti ne nous paraissent

pas plus probables l'un que l'autre. Et comme l'un des deux est possible, l'expérience le montre, nous devons croire que l'autre l'est également. (Couilhac, 1897, p.192)

La différence entre les deux directions du temps n'est donc pas quantitativement mesurable, mais est de l'ordre du qualitatif, un genre de différence qui est normalement un argument utilisé dans les sciences sociales. Si les sciences sociales intègrent une composante quantitative par le biais de la mathématisation, on voit ici une tentative d'intégrer une composante qualitative aux sciences naturelles.

La thèse de Couilhac dévoue plusieurs chapitres à la notion de loi scientifique et au concept de causalité ; Couilhac défend l'idée que les lois physiques sous-tendent une véritable notion de cause et ne sont pas simplement des successions d'événements.

On peut trouver d'autres citations de Boussinesq et de son mémoire qui vont cependant en se raréfiant au cours du temps. Le mémoire de Boussinesq disparaîtra ainsi de la mémoire des physiciens offusqués, entre autres, par les découvertes de la nouvelle physique quantique, faisant intervenir un tout autre genre de déterminisme.

Le retour de la vague mécaniciste en physique aura donc épuisé de son effet. Les conséquences qu'elle aura engendré prendront désormais des nouvelles directions qui ne sont plus directement liés à la problématique du départ.

Le débat autour du mémoire de Boussinesq aura le mérite d'amener à ses conséquences extrêmes le genre d'argument ébauché par Maxwell. La recherche d'une faille dans le déterminisme se déplace entièrement du côté théorique, au sein même des équations, alors qu'elle était au départ, notamment dans les régularités queteletiennes, une question empirique. Cependant, le fil rouge qui relie Quetelet à Boussinesq reste intacte, et est même assumé par le français. Renouvier tout particulièrement mélangera les deux débats en suggérant une proximité qui n'est pas tant conceptuelle qu'historique. S'il est vrai que la question de la compatibilité entre lois scientifiques et liberté est déclinée différemment chez Boussinesq et chez Quetelet, il n'est pas moins vrai, qu'une communauté hétéroclite s'estimera concernée par l'argument philosophique et par le biais de cet enjeu commun se retrouvera reliée au delà des frontières disciplinaires. L'issue du débat

amènera physiciens et philosophes vers un genre de questionnement de plus en plus technique faisant intervenir la direction du temps, la sensibilité aux conditions initiales, ou encore le deuxième principe : si le débat autour de l'idée de Boussinesq se heurtera surtout à ses limites théoriques, l'abandon du débat en général sera plus lié à une perte d'intérêt pour le déterminisme laplacien d'un point de vue philosophique. Il aura cependant ébauché un nombre importante de pistes de recherche et crée un carrefour disciplinaire permettant un dialogue entre sciences humaines et physique.

Chapitre 7

Conclusion

Cette thèse revêt une double ambition : elle aspire à raconter une histoire, celle du *thema* mécaniciste, décliné sous différentes formes alors même qu'il influence le débat sur la compatibilité entre sciences, déterminisme et libre arbitre. Au travers de cette histoire, elle démêle le discours sur la liberté et le déterminisme en faisant ressortir les différentes facettes de la question, en permettant ainsi une compréhension et une justification des nombreux échos, concepts, enjeux communs à l'économie, à la physique, aux statistiques de la deuxième moitié du XIX siècle. Mais elle vise aussi, à travers un récit contextuel à fournir une contribution à l'Histoire des sciences, notamment concernant ce qui se passe lorsqu'un mode de réflexion et un outillage épistémologique sont transférés d'une discipline à une autre et comment cet outillage est façonné, repensé et parfois déformé ou mécompris lors de ces transferts.

L'histoire d'une mécompréhension n'est pas forcément celle d'un échec ; au travers de son analyse, il est possible de voir les différences méthodologiques profondes entre deux disciplines et de comprendre alors ce qui les sépare et en caractérise l'identité propre. La résistance à l'encontre du programme mécaniciste n'est pas seulement venue d'une inadéquation de ses outils méthodologiques appliqués aux sciences humaines. C'est aussi, et peut être surtout une résistance au niveau des enjeux et des pratiques qui a été érigé contre le *thema* mécaniciste. Incompatibilité entre régularité et libre arbitre, mais aussi impossibilité d'ériger des lois sociales, de mettre « la liberté en équation ». Finalement, ce qui reste des lois et des équations des physiciens en économie et sciences humaines n'est qu'une ombre, une

ressemblance dans la forme parfois, mais une différence de contenus.

Les quelques auteurs immédiatement successeurs de notre période qui ont essayé de contourner ces différences, nous pensons par exemple à Winiarski (Winiarski, 1898, 1899a,b, 1900), n'ont jamais atteint une quelconque renommée et ont été marginalisés. Walras même, dont la postérité a retenu l'importante contribution de l'équilibre général, a été transmis sous une forme déformée qui tout en gardant son appareillage mathématique l'a dépouillé du contenu que son auteur voulait lui accorder.

Cette histoire d'un rejet demande, on l'a vu, une analyse qui est à la fois au niveau du contenu théorique et des enjeux sociaux dans lesquels baignent les acteurs de nos débats. Il arrive ainsi que derrière une résistance sur le plan théorique se cache un programme politique, mais il arrive aussi que ce qui a l'air d'un différend politique, le débat Walras-Levasseur, cache en partie une crainte et des différences de méthode qui relèvent de l'histoire internaliste. En lisant Levasseur, on s'est aperçu que son rejet des mathématiques se justifie parfaitement au niveau de sa pratique d'économiste et de statisticien, et que si crainte il y a, c'est peut-être davantage celle de sa propre pratique de statisticien face aux accusations de nier le libre arbitre, plutôt qu'un différend politique avec Walras, qui certes existe, mais qui ne justifie pas la réaction de Levasseur. Ainsi ce qu'on gagne d'une lecture interdisciplinaire du débat sur le libre arbitre, c'est qu'au travers du tri des différentes argumentations, on arrive à mieux comprendre les raisons des auteurs. S'il est vrai que Walras n'a pas voulu renier le libre arbitre, notre analyse nous a permis de voir que Levasseur n'était pas un lecteur naïf et qu'il avait des arguments puissants de son côté. Il se peut que Levasseur ait été conscient du mécanisme de Walras davantage que Walras lui-même.

Démêler les différents aspects de la question du libre arbitre en séparant les enjeux théoriques ou sociaux, permet un éclairage particulier et une meilleure compréhension de ce qui se passe. Comparons par exemple l'attitude de Walras face à sa découverte de l'existence d'équilibres multiples avec la découverte analogue de Boussinesq. Boussinesq réagit avec un enthousiasme qui est presque excessif face à une découverte somme toute marginale, mais qu'il charge d'une signification très importante. Walras a une attitude diamétralement opposée. Il esquivait la problématique en la reléguant à peu de chose, alors qu'elle aurait pu, convenablement interprétée, le

tirer de l'affaire avec Levasseur. Si Walras avait répondu aux accusations de Levasseur en montrant que suivant le prix crié au départ on atteint un équilibre économique différent, il aurait eu un moyen de répondre efficacement à Levasseur en montrant que tout n'est pas déterminé dans le processus économique : le prix à partir duquel commence le tâtonnement walrasien dépend de facteurs qui peuvent faire intervenir la liberté des agents.

Mais Walras ne souhaite pas devoir prendre en compte de tels aléas. L'économie pure doit répondre à des lois « aveugles et fatales », c'est-à-dire déterministes, et c'est là, aux yeux de Walras, la quintessence de la science. Il dévoile ainsi son attitude imprégnée de ce mécanicisme dont nous parlions. Ainsi reconstruire le contexte du débat sur le déterminisme permet de comprendre le regard de Laplace et ses proches sur la question, un regard dont Walras hérite, et qui fait du déterminisme une hypothèse de travail bien davantage qu'une conséquence de ses équations.

Finalement, une frange partisane en inspire parfois une autre. Ce qui ressort comme un point véritablement partagé entre physique et économie c'est un malaise profond entre les implications d'une science qui se veut et parfois se montre capable de décrire et prédire, et des croyances quant à la liberté et au libre arbitre qui sont constituants de l'individualité et des valeurs des acteurs de nos débats, et qui siègent même à la base de nombre de leurs convictions politiques profondes. La défaite du *thema* mécaniciste est alors l'occasion, à travers des débats croisés et parfois confus entre disciplines, de s'approprier du problème du libre arbitre pour contrer ce même programme mécaniciste à sa source : la physique. C'est peut-être en lisant Buckle que Maxwell s'aperçoit des conséquences d'une idéologie mécaniciste, mais c'est sur son propre terrain, celui de la physique, qu'il mène une offensive vouée à limiter les conséquences du mécanicisme, notamment dans sa prétention de nier le libre arbitre. De même, Boussinesq, par des outils différents, transporte ses convictions personnelles sur le plan technique et déduit d'une étude purement mathématique de l'instabilité et de la sensibilité aux conditions initiales des conséquences sur la liberté et le déterminisme. S'il est d'un côté fascinant de démasquer le voile de scientificité qu'on a parfois utilisé dans des débats idéologiques, il est tout aussi fascinant de voir que cette idéologie n'a pas été toujours néfaste, et a même souvent nourri le terrain de la découverte scientifique.

Le retour de la vague mécaniciste témoigne donc d'un malaise partagé

par rapport à l'avancée de la science et à sa conquête progressive d'une place centrale dans la réflexion philosophique. Les scientifiques et les philosophes montrent avoir conscience des enjeux et des restrictions que les découvertes scientifiques imposent à leur réflexion sur la nature et sur l'homme. Face à une science capable de prédire certains effets, il y a des hypothèses sur la nature humaine qu'on est contraint d'abandonner : le libre arbitre paraît pourtant trop important pour passer à la trappe, et cette perspective engendre une résistance farouche, que le débat autour du mémoire de Bousinesq, avec toutes les différentes déclinaisons que nous avons montrées, affiche en toute sa splendeur.

Le résultat de cette rencontre entre mécanicisme et liberté, de la tension entre prédictibilité et hasard, entre déterminisme et libre arbitre se solde par une assimilation de la connaissance qui acceptera les statistiques, mais rejettera en un premier temps l'économie mathématique pour ne l'accepter en suite qu'une fois que la signification de ce que c'est une loi aura profondément changé. De leur côté, les physiciens verront s'affaiblir le bastion déterministe face à une compréhension de plus en plus fine des régularités qu'ils observent et de leur rapport avec un édifice mathématique rigidement déterministe.

La conclusion de ce débat interdisciplinaire entre déterminisme et libre arbitre suivra des chemins disciplinaires différents. Le débat queteletien, nous l'avons vu, perdra progressivement de son élan et disparaîtra des mémoires. On peut raisonnablement supposer qu'un tel oubli fut en partie un choix commode de la part de la statistique naissante. Les idées de Quetelet sur l'homme moyen furent abandonnées en faveur d'idées eugénistes (Porter, 1986, 128-146), se concentrant davantage sur les éléments exceptionnels que sur la moyenne (voir par exemple l'article de Galton (1886) *Regression towards mediocrity in hereditary stature* ou l'on constate chez l'auteur une préoccupation quant à la convergence vers la moyenne perçue comme une tendance vers la médiocrité, une préoccupation qui relève d'un constat normatif qui n'est plus celui de Quetelet).

Chez les économistes, les raisons d'abandon du débat sur la liberté seront d'un autre genre. Le passage du flambeau de Walras à Pareto s'effectuera dans une période où des idées nominalistes et positivistes s'affirment en économie. Pareto sera lui-même un positiviste, méthodologiquement aux antipodes de Walras (Marchionatti et Gambino, 1997). Dans une op-

tique positiviste, la question du déterminisme et de la liberté ne se pose pas dans les termes que nous avons discutés. En effet, si la science n'est qu'une description qui ne donne en aucun cas accès à une connaissance objective du monde, toute la problématique du déterminisme s'évapore. Ainsi, les développements successifs de l'économie mathématisée se feront dans une perspective épistémologique qui ne regarde plus la question de la liberté comme un problème pertinent. En revanche, l'inspiration physicienne de Walras perdurera dans la forme mathématique qu'il a donnée à l'équilibre général, un écho d'une problématique plus vaste.

Du côté des physiciens, le débat sur la liberté autour du mémoire de Boussinesq va gentiment s'étouffer. Les changements épistémologiques suggérés par Boutroux et Poincaré, marqueront un changement de terrain philosophique moins propice aux spéculations ontologiques du type avancé par Boussinesq. En même temps, les recrudescences possibles de ce genre d'arguments seront ensuite empêchées par la révolution scientifique représentée par la naissance de la mécanique quantique, qui présente un type d'indéterminisme bien plus prometteur. Cependant, il est à remarquer que dans des temps très récents, un débat proche de celui de Boussinesq, faisant référence au même genre de singularité, a eu lieu en philosophie des sciences (Norton, 2008; Van Strien, 2014; Malament, 2007).

Au niveau global, au delà des bornes disciplinaires, ce travail permet de reconstruire 'l'esprit du temps' autour d'une problématique et d'un questionnement commun. Les conséquences et l'impact sur le développement scientifique sont bien sûr disciplinaires, mais la question philosophique est commune, et c'est ce questionnement commun qui permet un échange fertile. Bien sûr l'avancement de la physique statistique est l'oeuvre du physicien Maxwell, mais dans une certaine mesure cette découverte a été possible par la lecture que Maxwell fit de Quetelet. Et c'est sa connaissance du problème de la liberté chez Quetelet qui le pousse à réfléchir à cette même question dans sa discipline avec un regard influencé par celui de Quetelet. Ainsi il devient sensé d'affirmer que l'avancement de la science n'est pas une progression naturelle vers une vérité qui se dévoile, mais dépend des aléas de l'histoire et des enjeux philosophiques du moment, qui servent de moteur à la découverte scientifique.

En prenant finalement de la distance par rapport aux divers épisodes et

au contexte particulier de cette thèse, nous pensons qu'elle contribue à l'Histoire des sciences et des idées par ce qu'elle dévoile de la quête du savoir. C'est que de bien de points de vue, le chemin historique n'est ni anecdotique ni contingent du progrès scientifique, et on ne peut véritablement comprendre la science que comme une partie intégrante de la culture et de la connaissance. Cela ne veut pas dire qu'il n'y a pas de vérité ou d'objectivité scientifique. Cependant cela suggère que celle de la vérité pourrait ne pas être la question la plus intéressante et la plus fondamentale à se poser. En effet, peu importe que les contributions à la science physique de Maxwell, à l'économie de Walras, ou aux statistiques de Quetelet, soient, vraies ou justes. Ce qui en fait une contribution légitime c'est qu'elles ont été rationnelles, pertinentes et contextuellement adéquates aux interrogations de leur temps. C'est cela qui en a fait des contributions centrales d'une discipline, qui en explique l'acceptation immédiate ou tardive, le triomphe ou l'échec, et qui permet de suivre le chemin souvent tordu de leur avancement. Et dans ce sens il se peut qu'une croyance qui est de l'ordre du religieux, du politique ou du social (appelons cela la "nurture" pour faire court) s'avère tout aussi centrale dans une percée scientifique que celles d'ordre purement technique, conceptuel ou empirique. De fait il s'avère qu'il est souvent difficile, parfois impossible de séparer ce qui est de l'ordre de la nurture de ce qui ne l'est pas, et que cette séparation si elle peut en partie se faire, elle n'acquière du sens qu'à posteriori, comme un regard sur l'histoire qui n'est possible qu'après les faits qu'on regarde ont été confinés dans l'histoire. Ainsi, le nurture et le non nurture se retrouvent inséparablement unis dans la formation du savoir scientifique. Dans une large mesure l'histoire des sciences telle que nous la faisons permet alors d'inscrire la connaissance et la découverte scientifique comme l'un des engrenages du monde social. Il est à la fois vrai que la science se développe sous l'influence de tels facteurs et que le monde social est fortement influencé par le développement scientifique.

Nous pensons notamment que le déterminisme est constitutif de la démarche scientifique, mais c'est seulement grâce à l'historicisation de l'invention scientifique qu'on acquière une telle conscience. Le déterminisme, qui est une doctrine constitutive d'une partie de la pensée occidentale, allant bien au delà du cadre scientifique, nourrit d'idée et d'images la science. En retour la science donne de l'épaisseur à cette doctrine, en lui permettant de

prosperer et d'engendrer une partie de la *Weltanschauung* dont nous disposons. Il est à la fois vrai que la science porte le flambeau du déterminisme, et qu'elle est portée par ce même déterminisme comme un flambeau.

Finalement, s'il y a un dernier mot à dire sur ce débat c'est peut-être que la science, soit-elle sociale ou naturelle, est à plein titre l'une des formes de la connaissance et de la culture. En tant que partie des savoirs humains, elle ne peut pas se soustraire au débat avec les autres formes de la culture et de la connaissance. Les nombreux enjeux sous-tendus dans les épisodes que nous avons analysés, soient-ils politiques, sociaux ou religieux, soulignent à quel point le développement de la connaissance scientifique dépend et est intimement imbriqué avec ces mêmes enjeux.

Nous pensons qu'une telle compénétration des savoirs, contrairement à ce que l'on pourrait penser, n'est pas nuisible à la démarche scientifique. Le déterminisme a été une constante source d'angoisses et de craintes, mais il a aussi contribué à former en retour notre compréhension du monde, une compréhension qui est redevable de l'invention scientifique. Cette invention scientifique n'aurait pas été telle qu'elle est si elle n'avait pas puisé au puits philosophique du déterminisme. L'imbrication profonde des enjeux culturels, philosophiques, sociaux, avec la science, loin d'être une menace à la rationalité ou au savoir, en représente bien au contraire l'un des aspects le plus fascinants et le plus à même d'en faire ressortir toute sa beauté et sa valeur intrinsèque.

Annexe A

Solutions singulières

Dans cette annexe, nous allons présenter rapidement un exemple de solution singulière, du genre découvert par Boussinesq. Cet exemple est tiré d'une redécouverte, apparemment totalement indépendante des travaux de Boussinesq, par un petit groupe de philosophes anglo-saxons dans les années 2002 à 2008, suivi d'un débat intense et copieux (Norton, 2003, 2008; Malament, 2007; Korolev, 2007). Une analyse qui recontextualise historiquement ce débat a été donnée par Van Strien (2014). Cette version moderne d'un débat ancien concerne plus le problème de la causalité que celui du déterminisme, et sort du but de cette thèse ; néanmoins, la clarté de l'exemple utilisé, 'le dôme de John Norton', permet de se faire une idée très nette du problème sans entrer dans toutes les difficultés techniques évoquées par Boussinesq.

Imaginons un dôme, une coupole, avec une géométrie parfaitement sphérique (voir Figure A.1); le dôme est muni de coordonnées radiales notées r , curvilignes, qui suivent la surface du dôme. La hauteur du dôme est une fonction de r , $h = \frac{2}{3g}r^{\frac{3}{2}}$. On considère le dôme parfaitement rigide ; une masse ponctuelle glisse sans frottement depuis le sommet du dôme, sous l'effet de la gravité g .

Le choix le plus simple afin de calculer les équations de mouvement est le suivant : la vitesse des particules vaut \dot{r} , donc l'énergie cinétique $U = \frac{1}{2}m\dot{r}^2$, l'énergie potentielle $V = -mg\frac{2}{3g}r^{\frac{3}{2}}$. Le Lagrangien du système est

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}m\dot{r}^2 + mg\frac{2}{3g}r^{\frac{3}{2}}$$

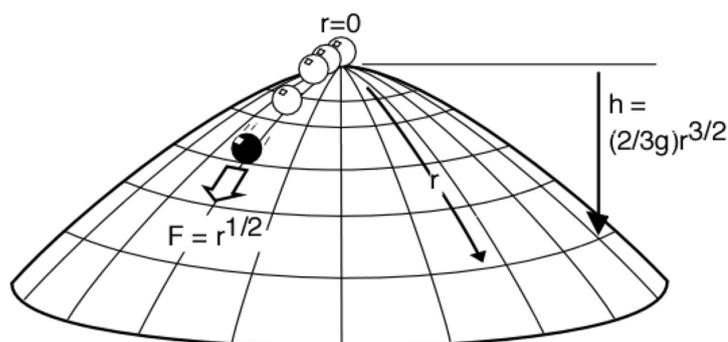


FIGURE A.1 – Un dôme muni d'un système de coordonnées radiales

et la seule équation de mouvement est

$$\ddot{r} = \sqrt{r}$$

La solution triviale est bien évidemment $r(t) = 0$ dans laquelle la masse reste pour toujours en haut de la colline, mais une classe d'autres solutions existent, de la forme

$$r(t) = \begin{cases} \frac{1}{144}(t - T)^4 & \text{si } t \geq T \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Ces solutions sont telles que la masse est immobile jusqu'au temps T ; ensuite, elle commence spontanément à bouger en suivant une trajectoire radiale.

Il a été remarqué par David Malament (2007) que la vitesse de départ du sommet du dôme doit être **strictement** zéro. N'importe quelle autre vitesse implique que la masse quitte la surface du dôme. En effet la dérivée deuxième $\frac{d^2h}{dr^2} = \frac{1}{2gr^{3/2}}$ ce qui implique qu'elle est infinie sur le sommet du dôme. Hors l'accélération $\frac{d^2h}{dt^2} = \frac{dh}{dr} \frac{d^2r}{dt^2} + \frac{d^2h}{dr^2} \left(\frac{dr}{dt}\right)^2$ est aussi infinie si la vitesse est différente de zéro. Ceci implique que le dôme n'est pas seulement un équilibre instable, mais que la forme du dôme est très spéciale; la violation du déterminisme ne peut avoir lieu que si la vitesse est parfaitement nulle, ce qui implique que si la boule au sommet du dôme se met en mouvement à un certain instant $t = T$, la force nécessaire à entraîner ce mouvement est aussi nulle.

Annexe B

Le modèle Kac Ring

En guise de complément au questionnement soulevé dans le chapitre 5, qui discute les idées de Maxwell, en particulier en ce qui concerne les références nombreuses aux paradoxes thermodynamiques de la réversibilité (Loschmidt), du deuxième principe, de l'entropie, de l'équilibre thermodynamique, d'irréversibilité et des cycles de Poincaré, nous proposons ici un complément qui illustre ces concepts tels qu'ils sont compris aujourd'hui. Cette annexe n'est donc pas un travail historique et n'a aucune prétention en ce sens, mais il sert au lecteur de repère, dans la mesure où un travail interdisciplinaire requiert des connaissances et s'appuie sur des notions qui ne font pas forcément partie du bagage normal de tout historien. Nous allons de plus nous appuyer sur un modèle simple, bien connu et étudié dans la bibliographie, permettant de mettre en scène toutes les difficultés qu'on a énumérées, et possédant même des solutions analytiques. C'est le modèle Kac Ring (anneau de Kac).

Le deuxième principe de la thermodynamique s'énonce sous sa forme la plus simple comme 'la chaleur ne se transmet pas spontanément d'une source froide à une source chaude'. Ce principe possède d'autres énonciations équivalentes, et notamment une en terme d'une fonction d'état, l'entropie. L'entropie d'un gaz au sens de Boltzmann se définit en divisant un système thermodynamique (par exemple une boîte) en des cases identiques de volume petit et en comptant de combien de façon il est possible d'arranger les N atomes du gaz dans les k cellules. Ce calcul donne une valeur Ω d'arrangements, et l'entropie est alors donnée par $s = k_B \log \Omega$, avec k_B la constante de Boltzmann. Il existe d'autres définitions d'entropie

possibles, mais en règle général il s'agit d'une fonction qui mesure le degré d'ordre dans lequel se trouve un système ; par exemple une situation dans laquelle toutes les particules de gaz sont entassées dans un angle de la boîte qui les contient est hautement moins probable de celle où elles occupent tout l'espace de façon homogène. L'entropie essaie de capturer ce fait. De même un état dans lequel les particules chaudes et rapides sont toutes rangées du même côté et bien moins probable que celui où la répartition de particules rapides et lentes est homogène : c'est en ce sens qu'il faut comprendre l'affirmation que la chaleur ne se transmet pas spontanément d'une source froide à une source chaude.

Lorsqu'un système est arrivé dans un état hautement désordonné, son entropie atteint un maximum ; on dit alors qu'on est dans une situation d'équilibre thermodynamique. Si cette situation n'est pas encore atteinte, le système est dit hors équilibre.

Une des premières objections à la notion d'entropie a été mûe par Loschmidt (entre autres, comme on l'a vu) concernant la réversibilité dans le temps : en effet si on met en contact un gaz chaud avec un gaz froid, on verra les deux se mélanger, et la température évoluer vers une valeur moyenne. Or, si l'on pouvait inverser la vitesse de toute molécule du mélange, on devrait observer un retour à la situation initiale, avec une partie chaude et une froide. Puisque pour chaque évolution temporelle qui fait augmenter l'entropie, il en existe une qui fait le contraire, on ne comprend pas bien en quel sens l'augmentation d'entropie devrait être probable.

Une deuxième objection, plus complexe, vient de la découverte des cycles de Poincaré. En effet un système thermodynamique possède la propriété suivante : si l'on attend assez longtemps, il reviendra dans un état aussi proche que l'on veut de son état initial. Par exemple, un gaz qui était par moitié chaud et par moitié froid, après s'être mélangé, reviendra un jour spontanément à son état initial (ou presque). Il s'agirait alors d'une violation du deuxième principe.

Afin de faire face à ces notions sans mobiliser des moyens mathématiques lourds, nous proposons un exemple simplifié d'un système fictif ; le but de cet exemple est de construire l'équivalent d'un système thermodynamique simple, possédant une évolution dans le temps. Cet exemple est discret, fini, et donc facilement simulable par ordinateur. Le but de l'exemple est de montrer qu'un tel 'jouet' possède les propriétés d'un sys-

tème thermodynamique, en particulier il est possible d'établir une notion d'entropie clairement définie. L'entropie de ce système possède la propriété bien connue du deuxième principe : elle augmente au cours du temps jusqu'à atteindre un maximum. Malgré ce fait, le système est parfaitement réversible dans le temps, et si on attend 'assez longtemps' pareillement que dans un cycle de Poincaré, il retourne à sa configuration de départ. Ainsi notre but est à la fois d'illustrer par des exemples ce que 'cycle de Poincaré' et 'réversibilité' signifient, et démontrer que ces notions ne sont pas contradictoires ou logiquement incompatibles avec le deuxième principe.

Voici comment est construit notre jouet : une série de récipients est arrangée le long du bord d'un cercle. Dans chaque récipient, il y a une boule, qui peut être blanche ou noire (voir figure B). Une horloge marque des intervalles de temps discrets ; à chaque pas de temps (par exemple une seconde), toutes les boules sautent d'une place dans le sens horaire.

Le long du cercle il y a des bâtonnets (en noir). Si une boule saute au-delà d'un bâtonnet, elle change de couleur. *Ce système est réversible : il suffit de faire tourner les boules dans le sens inverse, et le modèle retournera sur ses pas.* C'est l'analogie de la réversibilité dans le temps d'un système physique : si on renverse la vitesse de chaque particule d'un système fermé, le système retourne sur ses pas.

Notons $N(t)$ les boules qui sont noires à un instant donné, et $B(t)$ celles qui sont blanches. Alors clairement s'il y a n boules

$$N(t) + B(t) = n$$

Il y a m boules (celles qui sont derrière un bâtonnet), qui vont changer de couleur au prochain saut. Notons $b(t)$ celles qui sont blanches et vont devenir noires, et par $n(t)$ celles qui sont noires et vont devenir blanches. Par définition $b(t) + n(t) = m$, et on peut alors prédire qu'il y aura au temps $t + 1$ un nombre de billes blanches données par

$$B(t + 1) = B(t) - b(t) + n(t) \text{ et } N(t + 1) = N(t) - n(t) + b(t) \quad (\text{B.1})$$

Si les bâtonnets sont distribués de façon aléatoire, on peut supposer que

$$\frac{m}{n} = \frac{b(t)}{B(t)} = \frac{n(t)}{N(t)} = \mu$$

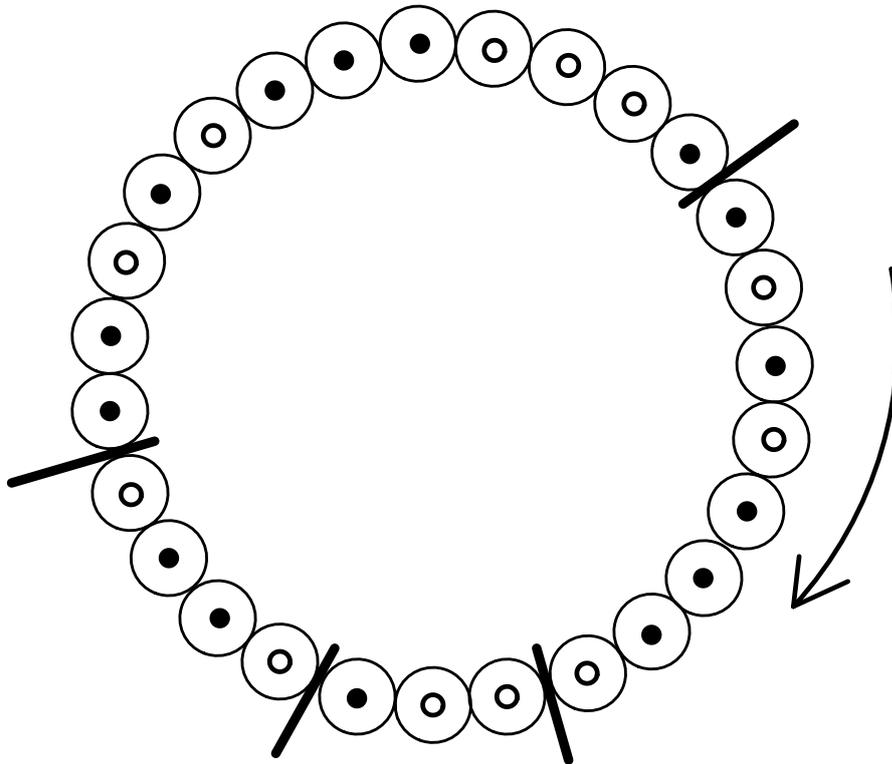


FIGURE B.1 – Le modèle Kac Ring

ce qui revient à dire que la proportion de bâtonnets par rapport aux billes qu'il y a est égale à la proportion des billes blanches qui vont changer couleur par rapport aux billes blanches, et vice-versa.

Or

$$\begin{aligned} B(t+1) - N(t+1) &= B(t) - N(t) + 2n(t) - 2b(t) \\ &= B(t) - N(t) + 2\mu N(t) - 2\mu B(t) = (1 - 2\mu)(B(t) - N(t)) \end{aligned} \quad (\text{B.2})$$

On a donc des équations récursives, ce qui nous permet de dire que

$$B(t) - N(t) = (1 - 2\mu)^t (B(0) - N(0))$$

Le coefficient $1 - 2\mu$ peut prendre des valeurs entre -1 et 1 ; cette équation prévoit donc que le nombre de boules blanches et de boules noires approche le 50% -50%, peu importe la configuration initiale.

On pourrait même introduire explicitement un coefficient de gris, qui mesure le niveau de mélange entre boules blanches et boules noires :

$$\delta = \frac{B(t) - N(t)}{n}$$

Ainsi l'entropie serait

$$S = k_B \log(\text{nb. de microétats compatibles avec } \delta) = K_B \log \binom{n}{B}$$

Nous pourrions alors parler de microétat pour la donnée explicite de la couleur de chaque bille et de la position de chaque bâtonnet. On parle par contre de macroétat pour le "coefficient de gris" de chaque microétat. Comme dans le cas thermodynamique, un "coefficient de gris" correspond à plusieurs microétats possibles. Ainsi nous avons une notion d'entropie, et la convergence vers un système avec 50% de boules blanches et 50% de boules noires est équivalent à la convergence vers un état d'entropie maximale (le coefficient de gris étant 0, on aurait $B(t) \cong \frac{n}{2}$ et donc l'entropie est maximale).

Ce modèle nous intéresse, car il déploie tous les paradoxes qu'on a énoncés. Il est réversible (il suffit de faire sauter les boules dans le sens antihoraire), il a une entropie croissante, il a un cycle de Poincaré (il suffit

de faire tourner deux fois toutes les billes). De plus, il n'est pas ergodique¹. En effet le nombre de microétat possibles est de 2^n (chaque case peut être occupée par une boule blanche ou par une boule noire) alors que chaque "trajectoire" visite seulement $2n$ microétats. Aucune trajectoire ne visite donc tout l'espace de phase.

Si on imagine un anneau de Kac très grand, disons avec un nombre d'emplacements de l'ordre de 10^{23} (l'ordre de grandeur des molécules dans une mole de gaz), on peut facilement imaginer que l'entropie augmentera assez rapidement, et atteindra un niveau maximal bien avant qu'on ait fait un cycle de Poincaré. Imaginons maintenant d'introduire une petite 'faille' dans le déterminisme rigide de l'anneau de Kac. Par exemple, on pourrait imaginer des petites erreurs de transmission ; de tant à autre un bâtonnet disfonctionne aléatoirement, ou une perturbation vient changer la couleur d'une bille sans raison. Il est clair que la réversibilité tout aussi que le cycle de Poincaré n'ont plus raison d'être. Dans ce cas, le système va néanmoins évoluer vers une entropie maximale, mais il ne bougera plus de cet état. C'est en ce sens qu'un indéterminisme microscopique, même minime, tout en maintenant la véridicité du deuxième principe, élimine la réversibilité et les cycles de Poincaré, en rendant donc le deuxième principe une loi absolue et pas seulement probable.

Le modèle Kac Ring illustre donc bien les principaux paradoxes de la thermodynamique ; un traitement systématique de cet exemple peut virtuellement se trouver dans tout texte avancé de thermodynamique (par exemple Gottwald et Oliver (2009) auquel nous nous sommes largement inspiré pour cette annexe).

1. Un système thermodynamique est dit ergodique si le système au cours du temps passe par tous ses microétats possibles.

Bibliographie

1874. Procès verbal de la séance du 8 novembre 1873. *Journal de la société statistique de Paris* : 1–3.
1900. Procès verbal de la séance du 18 avril 1900. *Journal de la société statistique de Paris*, 41(5) : 145–152.
- Antonelli, Etienne. 1953. Léon Walras et Carl Menger à travers leur correspondance. *Économie appliquée*, 2-3 : 269–287.
- Armatte, Michel. 2010. Statut de la Dispersion : de l’erreur à la variabilité. *Journ@l Electronique d’Histoire des Probabilités et de la Statistique*, 6(1).
- Banach, Stephan et Stanislaw Ruziewicz. 1922. Sur les solutions d’une équation fonctionnelle de J.C. Maxwell. *Bull. int. Acad. Polon. Sci. Lett.*, 145 : 1–8.
- Baranzini, Roberto. 2006. Nature et statut épistémologique des lois économiques dans l’oeuvre de Léon Walras. *Economie et sociétés*, 15 : 1671–1691.
- Baranzini, Roberto. 2011. La concurrence et le tâtonnement à la lumière du réalisme walrassien : une note sur les six premières sections des *Éléments*. In Roberto Baranzini, André Legris et Ludovic Ragni (éds.), *Léon Walras et l’équilibre économique général*. Paris : Economica, 154–169.
- Bee, Michele. 2013. Homo cœnonicus. Le caractère naturel de la division du travail et la nécessité du progrès industriel dans la théorie de l’histoire de Léon Walras. In Arnaud Diemer et Jean-Pierre Potier (éds.), *Léon Walras : un siècle après (1910-2010)*. Peter Lang, 61–75.
- Beirne, Piers. 1987. Adolphe Quetelet and the Origins of Positivist Criminology. *American Journal of Sociology*, 92(5) : 1140–1169. URL <http://www.jstor.org/stable/2779999>.

- Bell, John L. 1998. *A primer of infinitesimal analysis*. Cambridge : Cambridge university press.
- Bernard, Claude. 2003 (1865). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Québec : Les classiques des sciences sociales. http://classiques.uqac.ca/classiques/bernard_claude/intro_etude_medecine_exp/intro_medecine_exper.pdf.
- Berthelot, Jean-Michel. 2001. *Epistémologie des sciences sociales*. Paris : PUF.
- Bertillon, Alphonse. 1876a. La théorie des moyennes en statistique. *Journal de la société statistique de Paris*, 17 : 265–271.
- Bertillon, Alphonse. 1876b. La théorie des moyennes en statistique (suite et fin). *Journal de la société statistique de Paris*, 17 : 286–308.
- Bertrand, Joseph. 1878. Compte rendu de 'Accord des lois de la mécanique avec la liberté de l'homme dans son action sur la matière' de J. Boussinesq. *Journal des savants* : 519–523.
- Bertrand, Joseph. 1889. *Calcul des probabilités*. Paris : Gauthier-Villars.
- Besomi, Daniele et Giorgio Rampa. 2000. *Dal liberalismo al liberismo*. Torino : Giapichelli Editore.
- Blaug, Mark. 1990. On the historiography of economics. *Journal of the history of economic thought*, 12(1) : 27–37.
- Block, Maurice. 1883. A M. le rédacteur en chef du Journal des économistes. *Journal des économistes* : 264–266. Juin.
- Boas, Marie. 1952. The Establishment of the Mechanical Philosophy. *Osiris*, 10 : 412–541. URL <http://www.jstor.org/stable/301823>.
- Boureille, Bernard et Nicole Commerçon. 2000. Émile Levasseur : économie et géographie. In *Les traditions économiques françaises, 1848-1939*, Paris : CNRS Editions. 139–155.
- Boussinesq, Joseph Valentin. 1877a. Sur la conciliation de la liberté morale avec le déterminisme scientifique. In *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, tome 84, Paris : Gauthiers-Villars. 362–364.

- Boussinesq, Joseph Valentin. 1877b. Sur la conciliation de la liberté morale avec le déterminisme scientifique. In *Les mondes*, tome 42, Paris : Gauthiers-Villars. 501–516.
- Boussinesq, Joseph Valentin. 1877c. Sur la conciliation de la liberté morale avec le déterminisme scientifique. In *La revue scientifique de la France et de l'étranger*, tome 12, Paris : Germer-Baillièrre. 986–991.
- Boussinesq, Joseph Valentin. 1878. Extraits du mémoire sur la conciliation du véritable déterminisme mécanique avec l'existence de la vie et de la liberté morale. In *Séances et travaux de l'Académie des sciences morales et politiques*, tome 12, Paris : Alphonse Picard. 721–757.
- Boussinesq, Joseph Valentin. 1879a. Conciliation du véritable déterminisme mécanique avec l'existence de la vie et de la liberté morale. In *Mémoires de la société des sciences de l'agriculture et des arts de Lille*, Paris : Edouard-Prouveyre. 25–256. Précédé d'un rapport de M. Paul Janet, membre de l'Institut.
- Boussinesq, Joseph Valentin. 1879b. *Etudes sur divers points de la philosophie des sciences*. Paris : Gauthier-Villars. <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k994123>.
- Boussinesq, Joseph Valentin. 1879c. Le déterminisme et la liberté : lettre au directeur du Journal des Savants. *Revue philosophique de la France et de l'étranger* : 58–66.
- Boussinesq, Joseph Valentin. 1922. *Cours de physique mathématique de la faculté des sciences. Complément au tome III : Conciliation du véritable déterminisme mécanique avec l'existence de la vie et de la liberté morale*. Paris : Gauthier-Villars.
- Boutroux, Emile. 1895. *De l'idée de loi naturelle dans la science et la philosophie contemporaines*. Paris : Lecène Oudin et Alcan Félix Editeurs.
- Bouveresse, Jacques. 2004. *Robert Musil. L'homme probable, le hasard, la moyenne et l'escargot de l'histoire*. Paris : l'éclat, 2 édition.
- Breton, Philippe et François-Napoléon-Marie Moigno. 1876. *L'univers sans Dieu, formule dynamique générale des Mondes et des Êtres*. Paris : Gauthiers-Villars. Contient deux textes, 'La réversion ou le monde à l'envers' par

Philippe Breton et 'L'oeuvre de Dieu corrigée par Laplace, ou le monde sens dessus dessous' par l'abbé Moigno.

Breton, Yves. 1986. Les économistes libéraux français et l'emploi des mathématiques en économie politique, 1800-1940. *Economies et sociétés*, 20 : 25-65.

Bridel, Pascal. 1996. *Le Chêne et l'architecte, un siècle de comptes rendus bibliographiques des Eléments d'économie politique pure de Léon Walras*. Paris-Genève : Droz.

Brush, Stephen G. 1976a. Irreversibility and Indeterminism : Fourier to Heisenberg. *Journal of the History of Ideas*, 37(4) : 603-630. URL <http://www.jstor.org/stable/2709027>.

Brush, Stephen G. 1976b. *The kind of motion we call heat*. New York : North-Holland publishing company.

Buckle, Henri Thomas. 1865. *Histoire de la civilisation en Angleterre*. Paris : Librairie internationale A. Lacroix. Traduction autorisée, par A. Baillot, Tome premier.

Béraud, Alain. 2011. Walras et les ingénieurs-économistes français : des éléments d'économie pure au traité d'économie pure. In Roberto Baranzini, André Legris et Ludovic Ragni (éds.), *Léon Walras et l'équilibre économique général*. Paris : Economica, 171-200.

Calò, Giovanni. 1907. *Il problema della libertà nel pensiero contemporaneo*. Milano : Remo Sandron Editore.

Campbell, Lewis et William Garnett. 1882. *The life of James Clerk Maxwell*. London : MacMillan. <http://www-f1.ijs.si/~rudi/self/maxwell-bio.pdf>.

Carbonnelle, Ignace. 1879a. L'aveuglement scientifique. *Revue des questions scientifiques*, 5 : 234-286.

Carbonnelle, Ignace. 1879b. L'aveuglement scientifique. *Revue des questions scientifiques*, 5 : 196-233.

Charpentier, Thomas Victor. 1881. Philosophes contemporains : M. Cournot. *Revue philosophique de la France et de l'étranger* : 494-518.

- Clausius, Rudolf Julius Emmanuel. 1857. On the nature of the motion which we call heat. *Philosophical magazine*, 13(83) : 108–127.
- Claval, Paul et Jean-Pierre Nardy. 1968. *Pour le cinquantenaire de la mort de Paul Vidal de la Blache*. Paris : Les Belles Lettres.
- Condorcet, Nicolas de. 1768. *Le marquis de Condorcet à Mr d'Alembert, sur le système du monde et sur le calcul intégral*. Paris : Didot.
- Coquelin, Charles et Gilbert-Urbain Guillaumin. 1854. *Dictionnaire de l'économie politique*. Paris : Hachette.
- Cot, Annie L. et Jérôme Lallement. 1994. The historiography of economics, a methodological approach. In Laurence S. Moss (éd.), *Joseph A. Schumpeter historian of economics*, London : Routledge. 44–59.
- Couilhac, Marius. 1897. *La liberté et la conservation de l'énergie*. Paris : Victor Lecoffre.
- Courcelle-Seneuil, Jean-Gustave. 1883a. Compte rendu des éléments d'économie politique de Emile de Laveleye. *Journal des économistes* : 325–328. Février.
- Courcelle-Seneuil, Jean-Gustave. 1883b. Correspondance : Observations de M. Courcelle-Seneuil. *Journal des économistes* : 104–105. Avril.
- Cournot, Antoine-Augustin. 1975 [1851]. Essai sur les fondements de nos connaissances et sur les caractères de la critique philosophique. In Jean-Claude Pariente (éd.), *Œuvres complètes*, tome 2, Paris : Vrin.
- Cournot, Antoine-Augustin. 1979 [1875]. Matérialisme, vitalisme, rationalisme. In Claire Salomon-Bayet (éd.), *Œuvres complètes*, tome 5, Paris : Vrin.
- Cournot, Antoine-Augustin. 1980 [1838]. Recherches sur les principes mathématiques de la théorie des richesses. In Gérard Jorland (éd.), *Œuvres complètes*, tome 8, Paris : Vrin.
- Cournot, Antoine-Augustin. 1981 [1863]. Principes de la théorie des richesses. In Gérard Jorland (éd.), *Œuvres complètes*, tome 9, Paris : Vrin.

- Cournot, Antoine-Augustin. 1982 [1861]. *Traité de l'enchaînement des idées fondamentales dans les sciences et dans l'histoire*. In Nelly Bruyère (éd.), *Œuvres complètes*, tome 3, Paris : Vrin.
- Cournot, Antoine-Augustin. 1984 [1841]. *Traité élémentaire de la théorie des fonctions et du calcul infinitésimal*. In Pierre Dugac (éd.), *Œuvres complètes*, tome 6, Paris : Vrin.
- Cournot, Antoine-Augustin. 1984 [1843]. *Exposition de la théorie des chances et des probabilités*. In Bernard Bru (éd.), *Œuvres complètes*, tome 1, Paris : Vrin.
- Dahan Dalmedico, Amy. 1992. *Chaos et déterminisme*. Paris : Seuil.
- Dahan-Dalmedico, Amy. 2012. *Le monde de Laplace : mathématiques, physique et déterminisme*. http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/usrn/fundoro/archivos\20adjuntos/publicaciones/otros_idiomas/frances/Seminario15-16/Dalmedico_Laplace.pdf.
- Dallemagne, M. 1886. *Principes de sociologie*. In *Bulletin de la société d'anthropologie de Bruxelles*, tome 9, Bruxelles : Hayez, P. 269–386.
- Dameth, Henri. 1883. *Quelques mots de réponse à M. de Laveleye au sujet des lois naturelles*. *Journal des économistes* : 260–264.
- Darrigol, Olivier. 2005. *Les équations de Maxwell de MacCullagh à Lorentz*. Paris : Belin.
- Daston, Lorraine. 1988. *Classical probability in the enlightenment*. Princeton : Princeton University Press.
- Daston, Lorraine et Peter Galison. 2007. *Objectivity*. Boston : Zone Books.
- Delboeuf, Joseph. 1882a. *Déterminisme et liberté*. *Revue philosophique de la France et de l'étranger* : 608–638. Deuxième partie de l'article, Tome 1.
- Delboeuf, Joseph. 1882b. *Déterminisme et liberté, la liberté démontrée par la mécanique*. *Revue philosophique de la France et de l'étranger* : 453–479. Première partie de l'article, Tome 1.
- Delboeuf, Joseph. 1882c. *Déterminisme et liberté, la liberté démontrée par la mécanique*. *Revue philosophique de la France et de l'étranger* : 156–189. Troisième partie de l'article, Tome 3.

- Desrosières, Alain. 2008a. *Gouverner par les nombres*. Paris : Presses de l'école des mines.
- Desrosières, Alain. 2008b. *Pour une sociologie historique de la quantification*. Paris : Presses de l'école des mines.
- Dieudonné, Jean (éd.). 1978. *Abrégé d'histoire des mathématiques*. Paris : Hermann. Avec la collaboration de Jean Dieudonné, Pierre Dugac, W.J. et F. Ellison, Jean Guérindon, Marcel Guillaume, Guy Hirsch, Christian Houzel, Paulette Libermann, Michel Loève, Jean-Luc Verley.
- Dockes, Pierre. 1992. Les lecteurs de l'armée morte. Note sur les méthodes en histoire de la pensée économique. *Revue européenne des sciences sociales*, 92(30) : 341–364.
- Dockes, Pierre. 1996. *La société n'est pas un pique-nique, Léon Walras et l'économie sociale*. Paris : Economica.
- Dockes, Pierre. 1999. Ce qui est, ce qui devrait être, ce qui sera : Walras's Economics as He Saw It. *Revue européenne des sciences sociales* : 13–36.
- Dockes, Pierre. 2005. Léon Walras et la conciliation des vérités. *Cahiers du CERAS* : 169–188.
- Dockes, Pierre. 2014. Walras, Marx and the philosophy of history. In Francois Allisson et Roberto Baranzini (éds.), *Economics and other branches - In the shade of the oak tree*, London : Pickering and Chatto. 39–52.
- Dockes, Pierre et Jean-Pierre Potier. 2005. Léon Walras et le statut de la concurrence : une étude à partir des Elements d'économie politique pure. In *Histoire des représentations du marché*, Paris : Michel Houdiard Éditeur. 366–391.
- Dos Santos Ferreira, Rodolphe. 2011. La filiation Cournot-Walras. In Roberto Baranzini, André Legris et Ludovic Ragni (éds.), *Léon Walras et l'équilibre économique général*. Paris : Economica, 65–78.
- Doyle, Bob. 2010. Jamesian free Will, the two-stage model of William James. *William James Studies*, 5.
- Du Boys-Reymond, Emil. 1882. The Seven World-Problems. *Popular Science Monthly*, 20.

- Earman, John. 1986. *A primer on determinism*. Dordrecht : D. Reidel publishing company.
- Engel, E. 1876. *Éloge de L. A. J. Quetelet*. Berlin : Druck von W. Koebke.
- Esfeld, Michael. 2009. *Philosophie des sciences*. Lausanne : Presses polytechniques universitaires romandes, 2 édition.
- Espinass, Alfred. 1891. *Histoire des doctrines économiques*. Paris : Armand Colin.
- Fahlbeck, Pontus E. 1900. La régularité dans les choses humaines ou les types statistiques et leurs variations. *Journal de la société statistique de Paris*, 41 : 188–201.
- Fargen, Albert. 1902. *La liberté et le devoir, fondements de la morale et critique des systèmes de morale contemporains*. Paris : Berche et Tralin.
- Fauveau, Gustave. 1882. De la méthode en économie politique. *Journal des économistes* : 261–265.
- Ferri, Enrico. 1900. *Sociologia criminale*. Torino : Fratelli Bocca Editori, 4 édition.
- Flammarion, Nicolas Camille. 1872. *Récits de l'infini, Lumen, histoire d'une comète*. Paris : Didier et Cie.
- Flechey, E. 1874. De l'influence de l'action individuelle sur les conditions de l'état social. *Journal des économistes* : 34–48.
- Fouillée, Alfred. 1882. Les nouveaux expédients en faveur du libre arbitre. *Revue philosophique de la France et de l'étranger* : 585–617.
- Fouillée, Alfred. 1883. Le libre arbitre et la contingence des futurs. *Revue philosophique de la France et de l'étranger* : 585–610.
- Fouillée, Alfred. 1890. *La liberté et le déterminisme*. Paris : Félix Alcan, 3 édition.
- Freycinet, Charles de. 1896. *Essai sur la philosophie des sciences*. Paris : Gauthier-Villars.

- Gabelli, Aristide. 1879. Du scepticisme en fait de statistique. *Journal des économistes* : 185–220. <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k37822s/f56.image>, traduit de l'italien par Edmond Renaudin.
- Galilei, Galileo. 2005. *Il saggiaiore*. Roma : Antenore. Edizione critica e commento a cura di Ottavio Besomi e Mario Helbing.
- Gallois, Nicolas. 2007. Les lois naturelles chez Gustave de Molinari. In *Y a-t-il des lois en économie ?*, Villeneuve d'Ascq : Septentrion. 197–218.
- Galton, Francis. 1886. Regression towards mediocrity in hereditary stature. *Journal of the Anthropological Institute*, 15 : 246–263.
- Garrouste, Pierre. 1994. Léon Walras et Carl Menger à propos de l'utilisation des mathématiques en économie politique. *Oeconomia*, 20-21 : 11–27.
- Gide, Charles et Charles Rist. 1926. *Histoire des doctrines économiques*. Paris : Sirey.
- Gigerenzer, Gerd, Zeno Swijtink, Theodore Porter, Lorraine Daston, John Beatty et Lorenz Krüger. 1989. *The empire of chance*. Cambridge : Cambridge university press.
- Gillispie, Charles Coulston. 1972. Probability and Politics : Laplace, Condorcet, and Turgot. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 116(1) : 1–20.
- Gottwald, Georg et Marc Oliver. 2009. Boltzmann's dilemma – an introduction to statistical mechanics via the Kac ring. *SIAM Review*, 51(3) : 613–635.
- Granger, Gilles-Gaston. 1956. *La mathématique sociale du marquis de Condorcet*. Paris : Presses universitaires de France.
- Grocler, D. 1882. Les principes de la mécanique et de la liberté : Notes et discussions. *Revue philosophique de la France et de l'étranger* : 529–540. Commentaires de M. Delboeuf.
- Gruber, Christian et Philippe-André Martin. 2013. *De l'atome antique à l'atome quantique*. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes.

- Gunn, J. Alexander. 1932. Renouvier : The Man and His Work (II). *Philosophy*, 7(26) : 185–200.
- Guy, A. William. 1885. La théorie des moyennes en statistique. *Journal of the Statistical Society of London* : 72–86. Jubilee Volume.
- Hacking, Ian. 1983. Nineteenth century cracks in the concept of determinism. *Journal of the History of Ideas*, 44(3) : 455–475. <http://www.jstor.org/stable/2709176>.
- Hacking, Ian. 1990. *The taming of chance*. Cambridge : Cambridge university press.
- Hacking, Ian. 2002. *L'émergence de la probabilité*. Paris : Seuil.
- Hahn, Roger. 2005. *Pierre Simon Laplace 1749-1827, A determined Scientist*. London : Harvard University Press.
- Halbwachs, Maurice. 1912. *La théorie de l'homme moyen, essai sur Quetelet et la statistique morale*. Paris : Librairie Félix Alcan. Thèse complémentaire pour le doctorat.
- Harman, Peter M. 1992. Maxwell and Saturn's rings : problems of stability and calculability. In Peter M. Harman et Alan E. Shapiro (éds.), *The Investigation of Difficult Things : Essays on Newton and the History of the exact sciences*, Cambridge : Cambridge university press. 477–501.
- Harman, Peter M. 1998. *The natural philosophy of James Clerk Maxwell*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Hendry, John. 1986. *James Clerk Maxwell and the theory of the electromagnetic field*. Bristol : Adam Hilger.
- Herschel, John F.W. 1850. On the theory of probabilities. *Edinburgh review* : 179–218. <http://www.jstor.org/stable/41135240>.
- Holton, Gerald. 1981. *L'invention scientifique*. Paris : Gallimard. L'oeuvre en français est un collage partiel de "The scientific imagination" et "Thematic origin of scientific thought" préfacé par Pauli Scheurer et Gerald Holton.
- Huxley, Thomas H. 1893. *Method and results : Essays*. London : MacMillan and Co.

- Israel, Giorgio. 1991. Il determinismo e la teoria delle equazioni differenziali ordinarie : un'analisi retrospettiva a partire dalla meccanica ereditaria. *Physis : Rivista internazionale di storia della scienza*, 28(2) : 305–358.
- Israel, Giorgio. 1992. L'histoire du principe du déterminisme et ses rencontres avec les mathématiques. In *Chaos et déterminisme*, Paris : Seuil. 249–273.
- Israel, Giorgio et Bruna Ingraio. 1990. *The invisible hand, economic equilibrium in the history of science*. Cambridge : MIT Press. Translated by Ian McGilvray.
- Jaffé, William. 1977. The Walras-Poincaré Correspondence on the Cardinal Measurability of Utility. *The Canadian Journal of Economics / Revue canadienne d'Economique*, 10(2) : 300–307.
- Jolink, Albert. 1996. *The evolutionist economics of Léon Walras*. London and New York : Routledge.
- Kane, Robert (éd.). 2002. *The Oxford handbook of free will*. New York : Oxford university press.
- Keeling, S. V. 1931. Philosophy in France : Cournot and Renouvier. *Philosophy*, 6(23) : 365–370.
- Knapp, Georg Friedrich. 1872. Quetelet als theoretiker. *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik*, 18 : 10–11.
- Korolev, Alexandre. 2007. Indeterminism, Asymptotic Reasoning, and Time Irreversibility in Classical Physics. *Philosophy of Science*, 74(5) : 943–956. <http://www.jstor.org/stable/10.1086/525635>.
- Krönig, August Karl. 1856. Grundzüge einer Theorie der Gase. *Annalen der Physik*, 99 : 315–322.
- Krüger, Lorenz, Gerd Gigerenzer et Mary S. Morgan (éds.). 1990. *The probabilistic revolution*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Lakatos, Imre. 1978. *The methodology of scientific research programmes*. Cambridge : Cambridge University Press.

- Lalande, André. 1926. *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*. Paris : Félix Alcan.
- Lallement, Jérôme. 2000a. 'Hiéroglyphes effarouchants' ou forme nécessaire ? Cournot, Walras et les mathématiques. In *Les traditions économiques françaises, 1848-1939*, Paris : CNRS Editions. 429–442.
- Lallement, Jérôme. 2000b. Prix et équilibre selon Léon Walras. In Alain Beraud et Gilbert Faccarello (éds.), *Nouvelle histoire de la pensée économique 2*, Paris : La découverte. 449–497.
- Lallement, Jérôme. 2004. Walras et les mathématiques, un malentendu persistant. In Roberto Baranzini, Arnaud Diemer et Claude Mouchot (éds.), *Etudes walrassiennes*, Lyon : L'Harmattan. 81–104.
- Lallement, Jérôme. 2014. 'Walras entre individualisme et holisme. In François Allisson et Roberto Baranzini (éds.), *Economics and other branches - In the shade of the oak tree*, London : Pickering and Chatto. 15–30.
- Laplace, Pierre-Simon de. 1773. *Mémoires de mathématique et de physique*. Paris : Imprimerie royale. <http://books.google.ch/books?id=9aQ1AQAAAJ&pg=PA114&lpg#v=onepage&q&f=false>.
- Laplace, Pierre-Simon de. 1776. *Mémoires de mathématique et de physique*. Paris : Imprimerie Royale. Volume 7.
- Laplace, Pierre-Simon de. 1819 (1814). *Essai philosophique sur les probabilités*. Paris : Courcier, 4 édition. http://books.google.ch/books?id=k6FXAAAAYAAJ&printsec=frontcover&hl=fr&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
- Laveleye, Emile. 1883. Corréspondance : Les lois naturelles et l'objet de l'économie politique. *Journal des économistes* : 92–104.
- Le Gall, Philippe. 2008. The Confessions of the Average : Statistics and Natural Order in Nineteenth-Century French Economic Thought. *History of political economy*, 40 : 447–480.
- Levasseur, Pierre Émile. 1867. *Cours d'économie rurale et commerciale, précédé des notions fondamentales de l'économie politique*. Paris : Hachette.

- Levasseur, Pierre Émile. 1869. De l'histoire des faits et des doctrines économiques. *Revue des cours littéraires de la France et de l'étranger* : 121–128. <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k4058872/f127.image.langEN>.
- Levasseur, Pierre Émile. 1889. *La population française, histoire de la population avant 1789 et démographie de la France comparée à celle des autres nations au XIX siècle, précédée d'une introduction sur la statistique*. Paris : Arthur Rousseau.
- Levasseur, Pierre Émile. 1891a. Les lois de la démographie et la liberté humaine. *Séances et travaux de l'académie des sciences morales et politiques*, 36 : 191–203.
- Levasseur, Pierre Émile. 1891b. *Précis d'économie politique*. Paris : Hachette.
- Levasseur, Pierre Émile. 1898. De la méthode dans les sciences économiques. *Revue politique et littéraire* : 291–296.
- Lottin, Joseph. 1908a. La statistique morale et le déterminisme. *Revue néo-scolastique*, 57 : 48–89.
- Lottin, Joseph. 1908b. La statistique morale et le déterminisme. *Journal de la société statistique de Paris*, 49 : 317–342. Préface par la direction du journal.
- Lottin, Joseph. 1911. Le libre arbitre et les lois sociologiques d'après Quetelet. *Revue néo-scolastique de philosophie*, 72 : 479–515.
- Lottin, Joseph. 1912. *Quetelet statisticien et sociologue*. Paris : Félix Alcan.
- Majorana-Calatabiano, Giuseppe. 1889. *La statistica teorica e applicata*. Firenze : G. Barbera Editore.
- Malament, David. 2007. Norton's Slippery Slope. In *Philosophy of Science Assoc. 20th Biennial Mtg (Vancouver)*. 799–816. <http://philsci-archive.pitt.edu/3195/>.
- Marchionatti, Roberto et Enrico Gambino. 1997. Pareto and political economy as a science : methodological revolution and analytical advances in economic theory in the 1890s. *The Journal of political economy*, 105(6) : 1322–1348.

- Martin, Thierry. 2007. L'épistémologie probabiliste de Cournot. In Jean-Philippe Touffut (éd.), *La société du probable : les mathématiques sociales après Augustin Cournot*. 37–62.
- Martin, Thierry. 2012. La réception philosophique de l'œuvre probabiliste de Laplace dans la France du premier XIXe siècle. *Journal électronique d'Histoire des Probabilités et de la Statistique*, 8. <http://www.jehps.net/decembre2012/Martin.pdf>.
- Maxwell, J. Clerk. 1867. On the Dynamical Theory of Gases. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 157 : 49–88. <http://rstl.royalsocietypublishing.org/content/157/49.short>.
- Maxwell, James Clerk. 1860. Illustrations of the dynamical theory of gases - Part 1. On the motions and collisions of perfectly elastic spheres. *Philosophical magazine* : 19–32. http://books.google.ch/books?id=6ebK5yP1q1IC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
- Maxwell, James Clerk. 1878a. Diffusion. *Encyclopedia Britannica*, 7 : 214–221.
- Maxwell, James Clerk. 1878b. Paradoxical philosophy. A sequel to the unseen universe. *Nature* : 141–143.
- Maxwell, James Clerk. 1990. *The scientific letters and papers of James Clerk Maxwell, 1846-1862*, tome 1. Cambridge : Cambridge university press. Edité par P.M. Harman.
- Maxwell, James Clerk. 1995. *The scientific letters and papers of James Clerk Maxwell, 1862-1873*, tome 2. Cambridge : Cambridge university press. Edité par P.M. Harman.
- Maxwell, James Clerk. 2002. *The scientific letters and papers of James Clerk Maxwell, 1874-1879*, tome 3. Cambridge : Cambridge university press. Edité par P.M. Harman.
- von Mayr, G. et G.B. Salvioni. 1886. *La statistica e la vita sociale*. Torino : E. Loescher.
- McCloskey, Donald N. 1996. *Knowledge and persuasion in economics*. Cambridge : Cambridge university press.

- McLean, Iain et Fiona Hewitt. 1994. *Condorcet : foundations of social choice and political theory*. Aldershot : Edward Elgar. Deux volumes.
- Mill, John Stuart. 1865. *A system of logic, ratiocinative and inductive*. University of Toronto : University of Toronto Press. Introduction by R.F. McRae, Editor J.M. Robson, Books IV-VI and appendices.
- Mirowski, Philip. 1989. *More heat than light*. Cambridge : Cambridge university press.
- Montague, Richard. 1974. Deterministic Theories. In *Formal Philosophy*, Yale University Press. 303–361.
- Moret, Jacques. 1915. *L'emploi des mathématiques en économie politique*. Paris : M. Giard & E. Brière.
- Ménard, Claude. 1978. *La formulation d'une rationalité économique : A.A. Cournot*. Paris : Flammarion.
- Naville, Ernest. 1879. La physique et la morale. *Revue philosophique de la France et de l'étranger* : 265–286.
- Norton, John. 2003. Causation as Folk Science. *Philosophers' Imprint*, 3(4).
- Norton, John. 2008. The Dome : An Unexpectedly Simple Failure of Determinism. *Philosophy of Science*, 75(5) : 786–798.
- Nye, Mary Jo. 1976. The Moral Freedom of Man and the Determinism of Nature : The Catholic Synthesis of Science and History in the "Revue des questions scientifiques". *The British Journal for the History of Science*, 9(3) : 274–292.
- Nye, Mary Jo. 1979. The Boutroux Circle and Poincaré's Conventionalism. *Journal of the History of Ideas*, 40(1) : 107–120.
- von Oettingen, Alexander. 1882. *Die Moralstatistik und ihre Bedeutung für eine Sozialethik*. Erlangen : Andreas Deichert, 3 édition.
- Palsky, Gilles. 2006. Pierre Émile Levasseur (1828-1911). À l'interface des sciences sociales. *MODULAD*, 35 : 73–81.
- Poincaré, Henri. 1905. Cournot Et Les Principes du Calcul Infinitésimal. *Revue de Métaphysique Et de Morale*, 13(3) : 293–306.

- Poisson, Siméon Denis. 1806. Mémoire sur les Solutions particulières des équations différentielles et des équations aux différences. *Journal de l'école polytechnique*, 6 : 60–125. Lu à l'Institut le 23 floréal an XIII.
- Porter, Theodore M. 1981. A statistical survey of gases : Maxwell's social physics. *Historical studies in the physical sciences*, 12(1) : 77–116.
- Porter, Theodore M. 1986. *The rise of statistical thinking, 1820-1900*. Princeton : Princeton university press.
- Porter, Theodore M. 1997. Was Quetelet a positivist? In *Actualité et universalité de la pensée scientifique d'Adolphe Quetelet. Actes du colloque 24-25 octobre 1996*, Bruxelles : Académie royale de Belgique. 199–210.
- Potier, Jean-Pierre. 1994. Classification des sciences et divisions de l' 'économie politique et sociale' dans l'oeuvre de Léon Walras : une tentative de reconstruction. *Économies et sociétés - Cahiers de l'ISMEA*, 28(20-21) : 223–278.
- Priarolo, Mariangela. 2011. *Il determinismo : storia di un'idea*. Roma : Carocci.
- Quetelet, Adolphe. 1826. Mémoire sur les lois des naissances et de la mortalité à Bruxelles. <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k81571r/f3.image>.
- Quetelet, Adolphe. 1828. *Instructions populaires sur le calcul des probabilités*. Bruxelles : THayez, M. http://books.google.ch/books?id=Wx0PAAAAQAAJ&printsec=frontcover&hl=fr&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
- Quetelet, Adolphe. 1835. *Physique sociale : essai sur le développement des facultés de l'homme*. Paris : Bachelier. <http://ia700301.us.archive.org/19/items/surlhommeetled00quet/surlhommeetled00quet.pdf>.
- Quetelet, Adolphe. 1847. De l'influence du libre arbitre de l'homme sur les faits sociaux, et particulièrement sur le nombre des mariages. In *Bulletin de la commission centrale de statistique*. Bruxelles, 1–21.
- Quetelet, Adolphe. 1848. *Du système social et des lois qui le régissent*. Paris : Guillaumin.

- Quetelet, Adolphe. 1853. *Théorie des probabilités*. Bruxelles : A. Jamar. <http://books.google.fr/books?id=HPNaAAAAQAAJ&printsec=frontcover&hl=fr#v=onepage&q&f=false>.
- Quetelet, Adolphe. 1872. Notice sur Sir John Fréd. Will. Herschel. *Académie royale de Belgique* : 161–199. http://www2.academieroyale.be/academie/documents/HERSCHELJohnFred.Will.ARB_187238097.pdf.
- Ragni, Ludovic. 2003. Antoine Augustin Cournot adepte du modèle déductif nomologique. *Economies et sociétés*, 37 : 2145–2189.
- Renouvier, Charles. 1880a. La dernière des « sept énigmes du monde » de M. du Boys-Reymond. *La critique philosophique politique, scientifique, littéraire*, 17 : 257–266.
- Renouvier, Charles. 1880b. La liberté humaine au point de vue de l'observation. *La critique philosophique politique, scientifique, littéraire*, 27 : 1–7. Première partie de l'article.
- Renouvier, Charles. 1880c. La liberté humaine au point de vue de l'observation. *La critique philosophique politique, scientifique, littéraire*, 27 : 33–41. Deuxième partie de l'article.
- Renouvier, Charles. 1882a. De quelques opinions récentes sur la conciliation du libre arbitre avec le mécanisme physique. *La critique philosophique politique, scientifique, littéraire*, 20 : 305–314. Première partie de l'article.
- Renouvier, Charles. 1882b. De quelques opinions récentes sur la conciliation du libre arbitre avec le mécanisme physique. *La critique philosophique politique, scientifique, littéraire*, 22 : 337–349. Deuxième partie de l'article.
- Renouvier, Charles. 1883. Les objections de M. Fouillée contre la conciliation du libre arbitre avec les lois du mouvement. *La critique philosophique politique, scientifique, littéraire*, 52 : 389–400.
- Van der Rest, Eugène. 1996 (1886). Théorie mathématique de la richesse sociale. In Pascal Bridel (éd.), *Le Chêne et l'architecte, un siècle de comptes rendus bibliographiques des Éléments d'économie politique pure de Léon Walras*. Paris-Genève : Droz, 227–231. Compte rendu rédigé par Eugène van der Rest de la 'Théorie mathématique de la richesse sociale' de Léon Walras.

Texte paru dans la *Revue de droit international et de législation comparée*, 17 année, p. 99-104'.

Ridolfi, Luigi. 1996 (1883). *Théorie mathématique de la richesse sociale*. In Pascal Bridel (éd.), *Le Chêne et l'architecte, un siècle de comptes rendus bibliographiques des Eléments d'économie politique pure de Léon Walras*. Paris-Genève : Droz, 203–209. Compte rendu rédigé par Luigi Ridolfi de la 'Théorie mathématique de la richesse sociale' de Léon Walras (Permuta e produzione dei valori; Circolazione monetaria e bancaria; Proprietà individuale e collettiva). Texte paru dans la *Rassegna di scienze sociali e politiche*, 1 année, vol.2, n 15, p. 138-146'.

Robinson, Abraham. 1996 (1961). *Non-standard analysis*. Princeton : Princeton university press, 10 édition.

Rohrbasser, Jean-Marc. 2001. *Dieu, l'ordre et le nombre*. Paris : Puf.

Rorty, Richard. 1984. The Historiography of Philosophy : Four Genres. In Richard Rorty, J. B. Schneewind et Quentin Skinner (éds.), *Philosophy in History*. Cambridge : Cambridge University Press, 49–75.

Ruelle, David. 2010. *Hasard et chaos*. Paris : Odile Jacob.

Ruffini, Paolo. 1821. *Riflessioni critiche sopra il saggio filosofico intorno alle probabilità del sig. Conte Laplace fatte dal dottor Paolo Ruffini*. Modena : Società Tipografica.

Saint-Venant, Adhémar Barré de. 1834-1885a. *Papiers de Adhémar Barré, comte de Saint-Venant*. Cote MS4226.

Saint-Venant, Adhémar Barré de. 1834-1885b. *Papiers de Adhémar Barré, comte de Saint-Venant*. Cote, MS4227.

Saint-Venant, Adhémar-Jean-Claude Barré de. 1877a. Accord des lois de la mécanique avec la liberté de l'homme dans son action sur la matière. *Comptes rendus de l'Académie des sciences* : 419–423.

Saint-Venant, Adhémar-Jean-Claude Barré de. 1877b. Sur la conciliation de la liberté morale avec le déterminisme scientifique. *Comptes rendus de l'Académie des sciences* : 362–364. Présentation de la Note de M. Boussinesq par M. de Saint-Venant du 19 février.

- Schabas, Margaret. 1992. Breaking away : history of economics as history of science. *History of political economy*, 24(1) : 187–203.
- Schumpeter, Joseph A. 1983. *Histoire de l'analyse économique - 1 - L'âge des fondateurs*. Mayenne : Gallimard.
- Seneta, Eugene. 2003. Statistical Regularity and Free Will : L.A.J. Quetelet and P.A. Nekrasov. *International Statistical Review / Revue Internationale de Statistique*, 71(2) : 319–334. URL <http://www.jstor.org/stable/1403892>.
- Shapin, Steven et Simon Schaffer. 1993. *Leviathan et la pompe à air*. Paris : La Découverte.
- Sigot, Nathalie. 2005. La réception de l'œuvre économique de Cournot. In Thierry Martin (éd.), *Actualité de Cournot*. Paris : Vrin, 125–149.
- Skinner, Quentin. 2012. *La vérité et l'historien*. Paris : EHESS.
- Smith, Crosbie et Norton M. Wise. 1989. *Energy & empire. A biographical study of Lord Kelvin*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Sobel, Jordan Howard. 1998. Free Will and varieties of determinism. In *Puzzle for the will : Fatalism, Newcomb and Samarra, determinism and omniscience*. Toronto : University of Toronto Press, 77–166.
- Stanley, Matthew. 2008. The Pointsman : Maxwell's Demon, Victorian Free Will, and the Boundaries of Science. *Journal of the History of Ideas*, 69(3) : 467–491. <http://www.jstor.org/stable/40208034>.
- 7ème congrès de statistique. 1869. Le 7ème congrès international de la statistique. *Journal des économistes* : 57–71. <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k37822s/f56.image>.
- Stigler, Stephen M. 1986. *The history of statistics : the measurement of uncertainty before 1900*. Harvard : The Belknap press of Harvard university press.
- Tannery, Paul. 1879a. Une théorie de la connaissance mathématique. *Revue philosophique de la France et de l'étranger* : 113–130.
- Tannery, Paul. 1879b. Une théorie de la connaissance mathématique. *Revue philosophique de la France et de l'étranger* : 469–493.

- Tatti, Elena. 2000a. *La méthode de l'économie pure selon Léon Walras. Une analyse de ses fondements gnoséologiques*. Thèse de maître, Université de Lausanne, Lausanne.
- Tatti, Elena. 2000b. « Être » et « devoir être » chez Léon Walras. In *Les traditions économiques françaises, 1848-1939*, Paris : CNRS Editions. 417–428.
- Thomson, William. 1874. Kinetic Theory of the Dissipation of Energy. *Nature*, 9 : 441–444.
- Thomson, William. 1889. The age of the earth as an abode fitted for life. *Philosophical magazine*, 47 : 704–711.
- Thuillier, Pierre. 1988. La résistible ascension de la théorie atomique. In *D'Archimède à Einstein*, Fayard. 227–242.
- Tyndall, John. 1874. Address Delivered Before the British Association Assembled at Belfast. http://www.victorianweb.org/science/science_texts/belfast.html, edited by the Victorian Web.
- Van Strien, Marij. 2014. The Norton Dome and the nineteenth century foundations of determinism. *Journal for General Philosophy of Science* : 1–19.
- Vatin, Francois. 2000. 'Cournot et les principes de 1863 : des recherches sans mathématiques ? In *Les traditions économiques françaises, 1848-1939*, Paris : CNRS Editions. 305–322.
- Vergé, Charles. 1996 (1874). Emile Levasseur, Claude Valette, Louis Wollowski. In Pascal Bridel (éd.), *Le Chêne et l'architecte, un siècle de comptes rendus bibliographiques des Eléments d'économie politique pure de Léon Walras*. Paris-Genève : Droz, 25–27. Compte rendu rédigé par Charles Vergé des Séances et travaux de l'Académie des sciences morales et politiques, publié à la suite du mémoire de Walras, 'Principes d'une théorie mathématique de l'échange'.
- Wagner, Adolph. 1864. *Die Gesetzmässigkeit in den scheinbar willkührlichen menschlichen Handlungen vom Standpunkt der Statistik*. Hamburg : Boyes & Geisler.

- Walras, Léon. 1875. Une branche nouvelle de la mathématique, de l'application des mathématiques à l'économie politique. Fonds Walras IS 1927 V03/12.
- Walras, Léon. 1900. *Eléments d'économie politique pure*. Paris : F. Rouge, 4 édition.
- Walras, Léon. 1965. 1884-1897. In William Jaffé (éd.), *Correspondence of Léon Walras and related papers*, tome 2, Amsterdam : North-Holland Publishing Company.
- Walras, Léon. 1987. Mélanges d'économie politique et sociale. In *Œuvres économiques complètes*, tome 7, Paris : Economica.
- Walras, Léon. 1988a. Eléments d'économie politique pure. In *Œuvres économiques complètes*, tome 8, Paris : Economica.
- Walras, Léon. 1988b. Etudes d'économie politique appliquée. In *Œuvres économiques complètes*, tome 10, Paris : Economica.
- Walras, Léon. 1993. Théorie mathématique de la richesse sociale et autres écrits d'économie pure. In *Œuvres économiques complètes*, tome 11, Paris : Economica.
- Walras, Léon. 1996. Cours. In *Œuvres économiques complètes*, tome 12, Paris : Economica.
- Walras, Léon. 2000. Oeuvres diverses. In *Œuvres économiques complètes*, tome 13, Paris : Economica.
- Warwick, Andrew. 2003. *Masters of theory : Cambridge and the rise of mathematical physics*. Chicago : University of Chicago Press, 12 édition.
- Whewell, William. 1878. Esposizione matematica di alcune dottrine di economia politica. In *Biblioteca dell'economista, serie terza*, tome 2, Torino : Unione Tipografico-Editrice. 1–65.
- Winiarski, Léon. 1898. Essais sur la mécanique sociale. *Revue philosophique de la France et de l'étranger* : 351–386. <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k171840/f364.image>.

- Winiarski, Léon. 1899a. Essais sur la mécanique sociale : l'équilibre esthétique. *Revue philosophique de la France et de l'étranger* : 569–605. <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k17186p/f577.tableDesMatières>.
- Winiarski, Léon. 1899b. Saggi sulla meccanica sociale pura : la teoria della proprietà e della famiglia. *Rivista italiana di filosofia* : 572–594.
- Winiarski, Léon. 1900. Essai sur la mécanique sociale : l'énergie sociale et ses mensurations. *Revue philosophique de la France et de l'étranger* : 113–134 et 256–287. <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k17188c/f264.image>.
- Wyrouboff, G. 1870. De la méthode en statistique. *La philosophie positive*, 6 : 42–43.
- Zamagni, Stefano et Ernesto Screpanti. 2000. *Profilo di storia del pensiero economico*. Roma : Carocci.
- Zerner, Martin. 1991. Le règne de Joseph Bertrand (1874-1900). In *Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences : La France mathématique*, tome 34, Paris : Belin. 299–322.
- Zerner, Martin. 1994. Origine et réception des articles de Boussinesq sur le déterminisme. In *Contra los titanes de la rutina : encuentro, en Madrid, de investigadores hispano-franceses sobre la historia y la filosofía de la matemática*, tome 14, Madrid : CSIC Press. 319–334.
- Zylberberg, André. 1990. *L'économie mathématique en France 1870-1914*. Paris : Economica.

Index

- Bernard, Claude, 12
Bertrand, Joseph, 175, 186–190, 193
Boltzmann, Ludwig, 10, 215
Boussinesq, Joseph Valentin, 6, 10,
17, 19, 25, 34, 36, 41, 43, 87,
118, 162, 163, 171–197, 201,
202, 209
Boutroux, Émile, 7, 10, 41, 42, 209
Boys Reymond, Emil Heinrich du, 81
Buckle, Henry Thomas, 53, 55–58, 79,
142–144, 155, 200, 201, 207
Cambridge, université de, 144–148,
155
Carbonnelle, Ignace, 195, 196
Carnot
Nicolas Léonard Sadi, 199
Cauchy, Augustin-Louis Baron, 34,
150
Cheysson, Jean Jacques Émile, 73
Clausius, Rudolf, 139, 144, 153
Clifford, William Kingdon, 164
Comte, Auguste, 49, 104
Condorcet, Nicolas marquis de, 3, 14
Couilhac, Marius, 201, 202
Courcelle-Seneuil, Jean-Gustave, 76,
77
Cournot, Antoine Augustin, 60, 63–
65, 75, 90–108, 176, 183, 184,
194
Démocrite, 24
Delboeuf, Joseph, 87, 196–201
Descartes, René, 108
Duhamel, Jean-Marie, 176
Durkheim, Émile, 86
Edgeworth, Francis Ysidro, 113
Épicure, 24
Espinass, Alfred, 77, 195
Ferri, Enrico, 201
Fouillée, Alfred Jules Émile, 69, 70,
193, 200, 201
Fourier, Joseph, 3, 13
Galton, Francis, 162, 163
Graunt, John, 14
Grocler, 200, 201
Herschel, William, 55, 141–143, 147,
148
Holton, Gerald, 5
Hopkins, William, 146
Huxley, Thomas Henry, 152, 164, 166
Jevons, William Stanley, 75, 105
Kac, anneau de, 215, 218, 220
Kelvin, *voir* Thomson, William
Laplace
demon de, 96, 199

- Pierre-Simon marquis de, 1, 3, 7, 13, 14, 26, 30, 31, 33–37, 39, 40, 46, 47, 49, 59–62, 96, 155, 184, 191, 197, 199, 200
- Laveleye, Émile Louis Victor de, 76–78
- Levasseur, Pierre Émile, 6, 7, 9, 16, 28, 29, 72, 84, 90, 91, 124–136, 182, 206
- Lindelöf, Ernst Leonard, 34
- Lipschitz, Rudolf, 34
- loi
 économique, 27, 28, 76–78, 86, 90, 104, 105, 112, 113, 118, 119, 130
 physique, 36, 49, 95, 98, 104, 105, 130, 155, 166, 167, 176, 179, 180, 183, 185, 189, 192, 194, 198, 202
 sociale, 15, 16, 23, 28, 29, 39, 45, 47–49, 51–53, 63, 65, 67–71, 73, 74, 76–78, 89, 90, 121, 129, 130, 205
- Lombroso, Cesare, 201
- Mach, Ernst, 17
- Maxwell, James Clerk, 6, 8–10, 17, 18, 27, 43, 139–163, 165–167, 171, 172, 182, 185, 190, 207, 215
- Mill, John Stuart, 53–55, 57, 58, 60, 62, 63, 104, 200
- Molinari, Gustave de, 76, 78, 79
- Naville, Ernest, 194
- Newton, Isaac, 145, 198
- Pareto, Vilfredo, 10, 86, 113, 208
- Peano, Giuseppe, 34
- Petty, William, 14
- Picard, Émile, 34
- Poincaré, Henri, 7, 10, 34, 41, 75, 99, 219, 220
- Poisson, Simeon Denis, 34, 176, 189
- Quetelet, Adolphe, 3, 5–7, 11, 13–15, 17, 22, 23, 26, 29, 38, 45, 46, 48–55, 58, 60, 61, 64–67, 72, 79, 81, 82, 84, 86–91, 119, 121, 126, 141–143, 147, 148, 181, 208
- réductionnisme, 1, 5, 7, 14, 15, 25, 36, 49, 50, 70, 71, 73, 84, 90, 94, 125, 140, 147, 179, 180, 186
- Rayleigh, *voir* Strutt, John William
- Renouvier, Charles, 19, 79, 81, 191–194, 197
- Routh, Edward John, 146
- Saint-Venant, Adhémar Jean Claude Barré de, 87, 162, 172, 175, 177–186, 189, 191, 193, 197, 199, 201
- Schmitz-Dumont, Otto, 194
- Spencer, Herbert, 164, 165
- Spottiswoode, William, 164
- Stewart, Balfour, 163
- Stokes, George Gabriel, 140, 183
- Strutt, John William, 158
- Tait, Peter Guthrie, 144, 146, 152, 159, 163
- Tannery, Jules, 194, 195
- themata scientifique, 5, 7, 8, 28, 40, 42, 89, 91, 92, 143, 171, 205,

Thomson, William Lord Kelvin, 152,
159, 166, 167

Todhunter, Isaac, 146

Turgot, Anne Robert Jacques, 3, 14

Tyndall, John, 152, 164–166

Vacherot, Étienne, 182

Walras, Léon, 7, 9, 10, 16, 19, 72–
75, 89–92, 101, 109–124, 126,
132–136, 206, 208, 209

Winiarski, Léon, 206

Wolowski, Louis, 72, 126