



HAL
open science

A la recherche des hybrides

Ariane Dupont

► **To cite this version:**

Ariane Dupont. A la recherche des hybrides. Autre. UNIVERSITE DE PARIS I, PANTHEON-SORBONNE, 2013. tel-00877539

HAL Id: tel-00877539

<https://theses.hal.science/tel-00877539>

Submitted on 28 Oct 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

HABILITATION A DIRIGER LES RECHERCHES
UNIVERSITE PANTHEON SORBONNE PARIS 1

TOME 2

NOTE DE SYNTHESE

A la recherche des « hybrides »

Ariane Dupont-Kieffer

Printemps 2013

Directrice: Annie L. Cot (Professeur, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne)

Jury :

Claude Diebolt (professeur, Université de Strasbourg) – rapporteur

Alain Ayong Le Kama (professeur, Université Paris-Dauphine) – rapporteur

Carinne Staropoli (maître de conférences, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne)

Stéphane Callens (professeur, Université d'Artois)

Michel Armatte (maître de conférences, Université Paris-Dauphine)

Jean-Michel Fourniau (directeur de recherches, IFSTTAR)

L'Université Paris I n'entend donner aucune approbation ou improbation aux opinions émises dans ce document. Ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur.

En page de couverture : *Wind Drift* (2013) de Benoît Billote pour l'exposition « Brève histoire des lignes », Centre Pompidou-Metz, 2013.

Ce travail est dédié à deux personnes qui m'ont guidée et inspirée tout au long de ces années tant par leur exigence curieuse, leur généreuse humanité que par leur intégrité

Pour Denise Vernay et Alain Desrosières

SOMMAIRE

SOMMAIRE	4
INTRODUCTION GENERALE	6
1/ Bilan et perspectives de mes recherches : construire des ponts	7
2/ De « l'intrication » à l'hybridation	10
CHAPITRE 1	14
Les hybrides de l'économétrie, fruits d'un double travail de « purification » et « traduction »	14
1A/ Vers des hybrides heuristiques ? L'économétrie ou la fin de la dichotomie entre monde naturel et monde social	15
1A1. L'ambition positiviste et physicaliste de Frisch	17
1A2. Une démarche scientifique qui repose sur deux opérations : la quantification et la mesure	24
1A3. Le primat théorique et le besoin de règle de correspondance.....	29
1B/ Vers des « hybrides » au niveau politique ? La fin de la dichotomie entre pouvoir scientifique et pouvoir politique	40
1B1. Comprendre les mécanismes économiques pour les « réparer » : la responsabilité « sociale » de l'économètre	41
a. <i>Quelles perturbations affectent les mécanismes économiques</i>	43
b. <i>Une vision chaotique du monde social qui explique la tentative frischiennne de naturalisation des phénomènes économiques</i>	47
1B2. Articuler les discours du pouvoir scientifique et ceux du pouvoir politique : la place de l'expert et de l'expertise grâce à l'économétrie	54
a. <i>Différents types de politique économique</i>	57
b. <i>Les étapes de la coopération entre les économètres et les responsables</i>	60
CHAPITRE 2	64
Le transport durable et les nécessaires « hybrides »	64
2A/ Des hybrides heuristiques pour comprendre le transport durable	65
2A1. Le transport durable au cœur de mon programme de recherche : une approche éclatée	65
2A2. Se tourner vers d'autres sciences pour mieux analyser ou prévoir : l'hybridation inévitable et nécessaire dans le champ du transport.....	70
a. <i>Prévoir la mobilité et la motorisation : les modèles âge-cohorte</i>	71
c. <i>Vers une hybridation explicite et nécessaire ? La mesure des émissions de gaz à effet de serre</i>	73
2B/ La collaboration entre le pouvoir scientifique et le pouvoir politique : un renouvellement des discours et une nécessité.....	83
2B1. Le changement climatique	83
2B2. Un hybride évident : Les femmes entre sexe et genre.....	89

Conclusion	95
Perspectives de recherche.....	95
ANNEXE 1.....	100
Synthèse sur l'analyse des tendances et des projections de mobilité par le modèle âge-cohorte	100
ANNEXE 2	103
Synthèse sur le Diagnostic Environnemental de la Mobilité (DEM-2006) pour la Communauté Urbaine de Lille	103
BIBLIOGRAPHIE	105

INTRODUCTION GENERALE

Mon programme de recherche se développe autour de deux axes : 1/ l'analyse de la demande de transport des voyageurs et de ses impacts environnementaux pour permettre la définition et l'évaluation des politiques de transport durable, et 2/ une analyse des méthodes et des outils économétriques, notamment ceux définis et développés par Ragnar Frisch.

Ces deux champs semblent si disjoints que l'on pourrait croire à une schizophrénie développée suite à un basculement de parcours institutionnel de l'histoire de l'économétrie à l'économie des transports. Or, ces deux champs correspondent à deux recherches qui me permettent l'une et l'autre de répondre aux questions suivantes : en premier lieu la compréhension des phénomènes économiques à partir d'une démarche « observer-analyser-modéliser-prévoir » et, en second lieu, l'identification de la place du raisonnement et du calcul économique dans la définition et la conduite des politiques macroéconomiques et des politiques de transport. Ces deux questions constituent un pont entre ces deux champs scientifiques, qui se nourrissent l'un l'autre : le regard historique et épistémologique permet de mieux saisir la portée, les enjeux et les limites des méthodes et des outils mobilisés dans mes recherches appliquées au champ de l'économie des transports. Réciproquement, la conduite de recherches en économie appliquée souligne et montre la complexité des opérations de mesure, d'analyse et de modélisation tant au niveau heuristique qu'au niveau de la nature et du rôle de « l'expert » dans le processus d'aide à la décision politique décrit par Desrosières, (2001) en montre les enjeux et les limites : hypothèses sur le champ de validité (géographique, temporel, niveau micro/méso/macro, etc.) de la procédure de mesure, ajustement des procédures de mesure face au manque de données, nécessité d'une approche multi-disciplinaire pour rendre compte de la complexité des déterminants de la mobilité et des leviers d'action potentiels destinés à promouvoir une mobilité plus « durable » et donc plus équitable.

Ces deux questions, qui animent mes recherches en histoire de la pensée économique et en économie des transports, relèvent aussi d'une interrogation plus large sur la

« modernité » telle qu'elle a été décrite et analysée par Bruno Latour (1997)¹. J'ai montré dans ma thèse que l'œuvre de Frisch était le fruit d'une double « intrication », au niveau heuristique entre mathématique, théorie économique et statistiques, et au niveau de la politique économique entre modèles macrodynamiques et définition des politiques économiques. Les recherches menées depuis ma thèse, tant en histoire de l'économétrie qu'en économie des transports, m'ont conduite à repenser cette « intrication » dans la perspective de l'hybridation latourienne, hybridation qui marque la fin des ambitions de la « modernité » et en souligne les contradictions internes et les limites.

Les ambitions portées par les scientifiques de la « modernité » se résument à séparer, voire opposer, la nature et la culture. Comme le montre Latour, dans la pratique que les « modernes » pensent avec des hybrides, créent des hybrides ; des hybrides où, d'une part, nature et culture se mêlent, et où, d'autre part, la parole du scientifique et celle du politique interagissent et s'influencent l'une l'autre. La notion d' « intrication » permet tout à la fois de rendre compte du maillage opéré entre plusieurs disciplines lors de la découverte scientifique (l'intrication heuristique) d'une part et du maillage opéré entre le travail des scientifiques et celui des politiques (l'intrication politique) d'autre part.

Toutefois, cette notion ne permet pas de rendre compte de la dimension « moderne » du travail de séparation entre 'nature' et 'culture' que portent en elle ces tentatives de maillage : un travail de séparation d'autant plus affirmé qu'il porte sur des objets/sujets qui sont par nature des hybrides, des mixtes de *matter of facts* de Boyle (Latour, 1997, 29-30) et des acteurs-citoyens de Hobbes (*ibid.*, 32). Le développement de l'économétrie frischienne illustre cette hybridation, alors que cette hybridation apparaît de manière encore plus flagrante aujourd'hui avec les questions du changement climatique et l'impact des pollutions sur les sociétés.

1/ Bilan et perspectives de mes recherches : construire des ponts

La maîtrise de l'énergie et la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) apparaissent aujourd'hui comme des thèmes importants et porteurs, pour lesquels il ne paraît pas réaliste de tenter d'imaginer des solutions uniquement technologiques. Il convient de se

¹ Latour, B. (1997, précédente édition en 1991). *Nous n'avons jamais été modernes- Essai d'anthropologie symétrique*, Collection Poche, La Découverte.

pencher, à court ou moyen terme, sur des remises en cause profondes du fonctionnement actuel des territoires et des systèmes de déplacements².

Cette réflexion sur le transport durable suppose par conséquent de comprendre comment le système de transport peut répondre aux trois impératifs du développement durable : garantir la croissance économique, préserver l'environnement et développer le capital humain. Dans cette perspective, mes activités de recherche portent plus spécifiquement sur l'estimation de la mobilité (Dupont et Krakutovski, 2012 ; Martinez, Dupont et Viegas, 2010) et sur l'évaluation des conséquences des performances du système de mobilité en termes de risque environnemental, sanitaire, routier et économique dans les transports, que ce soit pour l'environnement ou pour les usagers.

Cette compréhension passe également par l'identification des spécificités de l'analyse quantitative développée dans ce champ de la mobilité (modèles économétriques, indicateurs, comptabilité nationale, enquêtes, analyse des données) et mise en œuvre par les chercheurs, mais également par les responsables des politiques de transport et les différents acteurs du système de transport.

Ce dernier volet de mes activités de recherche s'inscrit dans le prolongement des différentes problématiques abordées dans ma thèse : l'analyse macroéconomique, l'analyse des instruments statistiques et comptables mis en place pour étudier les crises économiques et tenter d'y remédier, l'examen des objectifs et des instruments des politiques économiques, ou encore l'évaluation des politiques publiques en Norvège, aux Pays-Bas, en Suède et en France.

Dans le prolongement de la thèse, j'ai poursuivi une analyse de la définition par les premiers membres de la Société d'Econométrie des liens entre théorie économique, statistiques et mathématiques. Les principaux résultats de ces recherches ont permis : (i) une remise en cause partielle de l'assertion selon laquelle la pensée frischienne reposerait sur des fondements déterministes en montrant que le cadre déterministe de l'analyse de la confluence relevait chez Ragnar Frisch plutôt du pragmatisme que du positionnement épistémologique, (Bjerkholt et Dupont-Kieffer, 2011) ; (ii) une nouvelle approche de l'histoire de l'économétrie, qui a notamment été écrite par ses propres acteurs, sur la base d'un travail de mémoire et dans le but de valider et de délimiter leur champ disciplinaire, qui montre, jusqu'à très récemment, cette histoire de l'économétrie n'a pas été écrite dans une perspective d'analyse historique ou d'histoire des sciences (Boumans et Dupont-Kieffer, 2011) ; et (iii)

² Afin de penser « des villes et des transports sans pétrole », comme le préconise, par exemple, dans les conclusions des ateliers, l'axe 1B de la consultation agora 2020.

une mise en lumière des liens entre la réflexion de Frisch sur les cycles des affaires, les dysfonctionnements du système économique et le développement de sa modélisation structurelle (Dupont-Kieffer, 2012a, 2012c). J'ai montré que la modélisation de Frisch s'inscrit dans une volonté de penser les phénomènes économiques autour des notions d'équilibre et de temps a-historique (Dupont-Kieffer, 2001). Cette analyse des crises et le contexte de la dépression des années 1930 amènent Frisch à penser non seulement les modalités de l'articulation entre théorie et données mais également entre l'économétrie et les données statistiques d'une part (Dupont-Kieffer, 2013) et entre l'économétrie et la comptabilité nationale d'autre part (Dupont-Kieffer, 2012b).

Cette recherche historique et méthodologique a par la suite été élargie à l'économétrie de panels (Dupont et Pirotte, 2011), particulièrement pertinente en économie des transports, afin d'identifier le moment, les acteurs et les raisons de l'émergence de cette branche de l'économétrie qui tente de rendre compte conjointement de la double dimension des données, *i.e.* les spécificités individuelles et dynamiques.

Ainsi, depuis la thèse, mes recherches en histoire de l'économétrie me conduisent à interroger le statut épistémologique des modèles développés d'abord par Frisch puis par les programmes contemporains de recherche sur le changement climatique. En effet, une « intrication » des sciences naturelles et des sciences humaines est à l'œuvre dans le processus de définition des scénarios relatifs au climat et aux activités sectorielles (*i.e.* le transport dans le cas qui m'intéresse) dans un horizon de long terme (2050 et plus). Cette « intrication » semble participer de la fin de la « modernité » au sens latourien (Latour, 1997) entraînant une confusion ou une intrication entre le sujet et l'objet :

« Hybrides nous-mêmes, installés de guingois à l'intérieur des institutions scientifiques, mi-ingénieurs, mi-philosophes, tiers instruits sans le chercher, nous avons fait le choix de décrire les imbroglios où qu'ils nous mènent. Notre navette, c'est la notion de traduction ou de réseau. Plus souple que la notion de système, plus historique que celle de structure, plus empirique que celle de complexité, le réseau est le fil d'Ariane de ces histoires mélangées » (Latour, 1997, 10).

Cette prise de recul par rapport à mon travail d'analyse des développements de l'économétrie et de l'économie des transports n'est ni celui de l'épistémologue qui 'réviserait' et

‘corrigerait’ le travail des scientifiques portant sur le pôle de la nature pour leur ôter toute référence aux « humains » (Latour, 1997, 128 et 141), ni celui de l’ethnologue et de l’anthropologue qui étudient les sociétés humaines sans recours à une réalité extérieure à la société (Latour, 1997, 130). Il s’agit ici, un peu sur le modèle de « l’anthropologue des modernes » décrit dans Latour (2012), de trouver une grille de lecture qui permette de « suivre les liaisons entre humains et non-humains et, surtout, en transformant la notion de social et de SOCIETE en un principe général de libre association, au lieu d’être un ingrédient distinct des autres » Latour (*ibid.*, 75-76)

2/ De « l'intrication » à l'hybridation

Mes recherches sur les champs des transports et de l’histoire de l’économétrie ont été conduites sous l’angle de la compréhension du statut épistémologique des outils et des méthodes développées pour analyser et comprendre les phénomènes économiques et sociaux des cycles à la mobilité durable. Ce questionnement aboutit à se demander si le processus de découverte scientifique, déjà à l’œuvre dans l’économétrie frischienne et aujourd’hui dans des champs appliqués et multi-disciplinaires comme le transport, l’aménagement ou le changement climatique, n’aboutit pas à la création d’ « hybrides », au sens défini par Bruno Latour (1997). Si on reprend l’ « hypothèse » qui sous-tend l’essai de Latour, la « constitution moderne » renvoie à une distinction entre deux pôles ou deux « zones ontologiques » (*ibid.*, 21), la « nature » ou le monde des non-humains et la « société » ou le monde des humains. En plus de cette distinction horizontale, il ajoute une distinction verticale entre l’échelle du global et l’échelle du local (*ibid.*, 167). Cette distinction peut être illustrée par les conflits qui peuvent surgir lorsqu’il faut mettre en place les différentes stratégies de lutte contre le réchauffement climatique ou penser un système de transport harmonisé au niveau européen. Depuis Hobbes et Boyle, les « modernes », auraient fondé leur paradigme sur l’identification et la distinction de deux forces : la force sociale (le pouvoir) et la force naturelle (le mécanisme) (*ibid.*, chapitre 2). Cette distinction engendrerait ensuite deux pratiques, celle de la « traduction » et celle de la « purification », et deux types de pouvoir, celui du « savant » et celui du « politique ».

- Le travail de *purification* tente d’établir « une partition entre un monde naturel qui a toujours été là, une société aux intérêts et aux enjeux prévisibles et stables et un discours indépendant de la référence comme de la société » (*ibid.*, 21) ;

- Le travail de *traduction* tente d'établir sur la base d'identification de réseaux la chaîne entre les préoccupations des scientifiques et celle des hommes politiques et de la société civile, entre les différentes disciplines scientifiques, entre les « stratégies savantes et industrielles », *etc.* (*ibid.*, 21)

Dans ce cadre, la distinction entre ces deux forces conduit à la distinction entre deux pouvoirs, le pouvoir scientifique représentant les choses et le pouvoir politique représentant les sujets (Latour, 46) :

- Le *pouvoir naturel ou scientifique* se rapporte au pôle de la « nature » ou des « non-humains » où les objets muets parlent par le truchement des « scientifiques » ; ce ne sont pas les hommes qui font la nature mais ils en découvrent les secrets. Le travail des épistémologues est de donner à ce monde les qualités que sont l'objectivité, la vérité, l'extra-territorialité (*ibid.*, 195)
- Le *pouvoir politique* se rapporte au pôle de la « société », de la « culture » ou encore des « humains » où les citoyens parlent par la voix d'un souverain ; ce sont les hommes qui construisent la société et décident librement de leur destin. Le travail des ethnologues est de décrire ce qui passe dans le pôle de la société sans recourir à d'entité ou de réalité extérieure à ce pôle (*ibid.*, chapitre 4).

Le travail de « traduction » doit permettre de penser l'articulation entre ces deux pouvoirs tout en garantissant que les objets naturels restent bien distincts des sujets de la société. Ainsi, le monde « moderne » serait bien « un monde dans lequel la représentation des choses par l'intermédiaire du laboratoire est à jamais dissociée de la représentation des citoyens par l'intermédiaire du contrat social » (*ibid.*, 43). Or, dans la pratique scientifique et politique malgré les ambitions et les efforts des uns et des autres, cette double séparation ne tient pas (Latour, 1997, chapitre 4). Les « modernes » n'auraient pas pu empêcher la prolifération de ces « hybrides », en ce sens, à la fois objets et sujets, nature et culture (*ibid.*, 21 et 183).

La question est de savoir si ces hybrides sont le résultat de l'échec du travail de purification/séparation et de traduction opéré par les épistémologues et les ethnologues/anthropologues ou si les défis du XXIème siècle obligent à repenser la relation entre les « humains » et les « non-humains » d'une part, et la relation entre les « scientifiques » et les « politiques » d'autre part.

On constate que la science a elle-même besoin des repères donnés par les responsables politiques, ou administratifs, notamment dans le champ du changement climatique mais aussi plus anciennement dans le champ des politiques contra-cycliques, notamment à partir du début du XXème siècle et principalement à partir de la fin des années 1920. Par ailleurs,

certaines des données ou des hypothèses nécessaires à l'investigation scientifique vont être choisies en référence à des programmes accords politiques comme les objectifs fixés par les accords de Kyoto, ou seront le résultat de tractations politiques, comme dans le cas des valeurs tutélaires du carbone ou des taux d'escompte. Cette interaction, qui n'est pas toujours explicite, est le résultat de la volonté de certains scientifiques et de certains responsables politiques d'utiliser la connaissance des régularités du monde social et économique pour en contrecarrer les désordres –comme les crises économiques- et/ou pour garantir la survie d'un modèle libéral –« sauver » l'économie pour éviter des crises politiques et sociales dommageables à la démocratie et aux libertés individuelles- ou plus récemment la préservation de la biodiversité (et de nos modes de vie et des équilibres géo-stratégiques) en limitant l'impact du réchauffement climatique.

« Pourtant, le fil d'Ariane existe qui permettrait de passer continûment du local au global, de l'humain au non-humain. C'est celui du réseau de pratiques et d'instruments, de documents et de traductions » (*ibid.*, 165).

Latour montre qu'avec les questions relatives au changement climatique, les confusions entre l'objet et le sujet, entre le pouvoir politique et le pouvoir naturel deviennent évidentes Latour (1997, 15-17 et 2012, 20). Au-delà de cette démonstration, je vais tenter de répondre à ces questions en mobilisant à la fois l'histoire de l'économétrie (chapitre 1) et le transport durable (chapitre 2). Il s'agit de voir si la grille de lecture latourienne permet de saisir la nature complexe du modèle économétrique.

Ce modèle semble jouer un double rôle dans l'économétrie de Frisch : il est une fois l'instrument clé de sa démarche de connaissance mais aussi celui de la définition et de la conduite des politiques économiques de stabilisation. J'ai montré dans ma thèse que ce modèle était le fruit d'une double « intrication », heuristique et politique. Un premier chapitre essaiera de répondre à la première question soulevée par l'adoption de cette grille de lecture latourienne : l'hybride est-il le résultat des pratiques des « modernes » et des échecs des procédures de purification et de traduction que les scientifiques mettent en place en économie ? Un second chapitre tentera de répondre à la seconde question : les hybrides sont-ils l'inévitable conséquence de la complexité des phénomènes qui relèveraient à la fois de la nature et de la culture puisque dans notre monde technicisé « beaucoup plus d'objets exigent beaucoup plus de sujets. Beaucoup plus de subjectivité demande beaucoup plus

d'objectivité » (*ibid.*, 146) ? Ainsi, la mobilité, fait social, est contrainte par l'espace mais également par des réseaux, objets techniques construits par l'homme. La mobilité durable demande de s'intéresser dans un premier temps à un phénomène naturel, le lien entre gaz à effet de serre et changement climatique, et de mesurer dans un second temps la participation de ces activités humaines au réchauffement climatique. Je montrerai que cette mesure nécessite de mobiliser les différents éléments d'une science fragmentée et qu'elle est en cela un hybride. Au-delà de la démarche de compréhension des interactions entre le transport et le climat, l'ampleur des enjeux nécessite un dialogue entre le « pouvoir naturel » et le « pouvoir politique » afin de déterminer son évolution. Ainsi, la nature des questions relatives au transport durable oblige à repenser les tâches de séparation et de traduction que la « modernité » a mise en place.

CHAPITRE 1

Les hybrides de l'économétrie, fruits d'un double travail de « purification » et « traduction »

« Il y a bien une critique des valeurs et des moyens de la science, mais l'art de trouver (quoiqu'on l'ait baptisé heuristique), demeure aussi personnel que tous les autres arts »
Paul Valéry. 1926, *Entretiens* [avec Frédéric Lefèvre], 133)

Le premier niveau que j'ai identifié est celui du champ de la découverte scientifique où ces hybrides résultent soit d'un renouvellement du processus de découverte scientifique, soit de l'objet même de l'investigation scientifique. Dans le cadre de la naissance de l'économétrie, les hybrides semblent être le résultat des relations complexes établies par Frisch entre l'observation, l'analyse, la prévision et l'action. Le « modèle » est devenu l'élément central de la découverte scientifique, mais aussi de l'action, comme je le montrerai en seconde partie de ce chapitre. L'étude du statut épistémologique du modèle permet de comprendre dans quelle mesure l'économétrie a permis de penser la multi-disciplinarité en créant des objets heuristiques hybrides. Puis une seconde partie de ce chapitre explore l'hybridation au niveau politique, et tente de décoder les raisons, les modalités et les enjeux de la fin de la dichotomie entre le pouvoir politique, représentatif du pôle de la société, et le pouvoir naturel, représentatif du pôle de la nature. Je montrerai que cette seconde hybridation est la résultante de la tentative de séparation (et relativement de son échec) décrite dans la première partie. En effet, l'objectivation des phénomènes touchant à l'économie et au transport, permet au scientifique de penser qu'il est assez en distance avec son objet pour devenir un sujet agissant sur le monde qu'il construit en l'étudiant ; en conséquence, il devient capable de donner « les recettes » pour réparer la machine étudiée lorsqu'elle dysfonctionne. Par là, il introduit un nouveau rapport entre le pouvoir scientifique et le pouvoir politique (Armatte, 1995 ; Lie, 1995 ; Morgan, 2003 ; Medema, 2005) : l'expert conseille les représentants des citoyens et les cadres des administrations en charge de la politique choisie par les élus. Mais en retour, les scientifiques doivent penser, modéliser, tracer les voies à suivre pour atteindre les objectifs que les politiques se sont fixés. Frisch a bien conscience de ce renouvellement du lien et on comprend dès lors son attachement à définir un ensemble de

modèles de politique économique et une méthodologie codifiant et bornant le rapport entre le politique et le scientifique.

1A/ Vers des hybrides heuristiques ? L'économétrie ou la fin de la dichotomie entre monde naturel et monde social

L'histoire de la pensée économique -et plus particulièrement l'histoire de l'économétrie (Morgan, 1990 ; Armatte, 1995 ; Le Gall, 1994) a montré que l'économétrie représente une étape importante dans le basculement de « l'économie politique » à la « science économique ». Ce basculement s'ancre dans l'ambition de lier la théorie et l'observation sur la base d'une « unification » entre mathématiques, statistiques et théorie économique.

L'économétrie structurelle a marqué l'inscription de l'économie dans la perspective du positivisme logique, tout en renouvelant le lien entre théorie et faits. Il y eut bien des tentatives de synthèse entre économie mathématique et économie statistique, comme le soulignent Théodore Porter (2001), Mary Morgan (1990) et Harro Maas (2001), mais il faut attendre le début du XX^{ème} siècle pour voir se construire des ponts entre ces deux pôles de la recherche. Les travaux de Porter (1986, 2001), de Judy Klein (1997), ou d'Alain Desrosières (1993, 1997) ont souligné la nécessité de redécouvrir le rôle de l'articulation entre la connaissance économique issue des milieux académiques et celle qui caractérise les milieux administratifs dans le processus de découverte scientifique en économie. Frisch est l'un des ingénieurs de cette synthèse. Sa définition de l'économétrie est aux fondements de plusieurs axes de recherche en théorie économique et en méthodologie économétrique, qui sont au cœur des pratiques méthodologiques de la *Cowles Commission*. Même si cette dernière prend quelques distances vis-à-vis du caractère déterministe des fondements posés par Frisch, il ne reste pas moins vrai que la démarche de modélisation qu'il a initiée sera celle de l'économétrie jusqu'aux années 1970. La synthèse opérée par Frisch entre quantification théorique et quantification empirique autour de la modélisation structurelle révèle un auteur charnière pour l'histoire de l'économétrie. En cela, l'économétrie de Frisch s'inscrit dans un changement épistémologique qui dépasse le cadre de l'économie politique et qui est plus largement lié à la place du modèle dans la formation de la connaissance scientifique.

Le développement de la modélisation économétrique s'appuie sur une représentation mécaniste du monde et sur une pratique scientifique ancrée dans une approche physicaliste et réductionniste. Frisch est écartelé entre une conception unitaire du monde – et donc de la science- et une pratique relevant d'une vision parcellisée et probabiliste du monde.

Pour reprendre la terminologie développée par Philippe Le Gall (2002b) et par Giorgio Israel (1996), on peut placer Frisch à l'articulation entre un « paradigme unitaire » de type déterministe et un « paradigme fragmentaire » de type probabiliste. Au début du XX^{ème} siècle, les scientifiques renoncent à une vision unifiée du monde ; la mathématique n'est plus le langage dans lequel sont écrites les régularités à découvrir. Elle apparaît comme offrant les outils permettant d'exprimer la complexité des phénomènes qui composent l'objet singulier étudié. Dès lors, il s'agit « d'appliquer un fragment de mathématique à un fragment de réalité » (Israel, 1996, 19). Ce type d'approche est un fondement de la modélisation telle que les économistes la conçoivent aujourd'hui.

Cette vision fragmentaire de la science s'explique très facilement par la grille de lecture latourienne de la modernité, où la fragmentation des sciences permet d'isoler les humains des non-humains, le pôle de la nature du pôle de la culture, le travail des scientifiques de celui des politistes, des ethnologues et des sociologues. Le modèle économétrique illustre bien cette vision fragmentaire de la science, fragmentation qui donnerait à celle-ci la possibilité de produire des énoncés et des explications vraies, objectives et universelles. Le modèle économétrique sera d'autant plus illustratif de cette tentative « moderne » de Frisch, qu'il s'inspire d'une épistémologie physicaliste, voire positiviste par certains aspects. Il illustre aussi les limites de la modernité par son caractère hybride. En effet, cette modélisation va reposer chez Frisch sur une « intrication » entre les mathématiques, les statistiques (qu'il s'agisse de données ou de théorie) et la théorie économique. Ces emprunts à différentes disciplines produisent, notamment dans le cadre de l'analyse de la confluence, un hybride transcendant la fragmentation des sciences- le modèle économétrique- qui sera l'outil de la démarche de connaissance. Cette dernière est explicitement posée comme articulant des travaux de théorie économique et des travaux de théorie statistique.

Dans son projet scientifique, défini par Frisch en 1926, l'année de sa soutenance de thèse, et qui le mènera en 1969 au « Prix de la banque de Suède en mémoire d'Alfred Nobel ». Cette articulation est sous-tendue par deux types de réductions : 1) Réduire le monde économique à un monde de régularités qui peut être compris grâce à une analogie avec la physique et assimiler sur cette base physicaliste la recherche scientifique à celle des régularités qui structurent les mécanismes du monde, 2) Réduire l'étude de ces régularités à celle de « l'individu typique » dont il s'agira de quantifier et mesurer le comportement. Ce physicalisme et ce réductionnisme se déploient dans le cadre de la construction de modèles qui permettent d'articuler les représentations théoriques et empiriques des phénomènes socio-économiques. Le modèle semble se résumer de prime abord comme je l'ai montré dans notre

thèse à une intrication de trois disciplines. Toutefois, cette intrication devient hybridation par sa tentative de reconstruire une « nature » économique et sociale qui serait transcendante à l'humain et au scientifique et comme je le détaillerai dans le chapitre suivant, cette transcendance de la nature viendra compléter l'immanence du lien social.

1A1. L'ambition positiviste et physicaliste de Frisch

Les premières formulations du projet scientifique de Ragnar Frisch sont avancées dès la fin de ses années de formation, au début des années 1920, que ce soit dans les notes de travail « Théorie analytique de la valeur : introduction à une économétrie générale »³, dans les articles « Kvantitativ formulering av den teoretiske økonomiskks lover » (1926a) ou dans « Sur un problème d'économie pure » (1926b). Il explicite très rapidement sa référence aux sciences naturelles pour développer l'économétrie. Il ne s'agit pas seulement de modéliser les concepts de l'économie sur ceux de la physique ou de la mécanique, mais d'emprunter à ces disciplines les principes scientifiques devant guider les opérations de quantification et de mesure. Frisch développera toute sa vie les analogies avec les sciences dites « dures », comme il le rappelle devant son auditoire à l'Institut Henri Poincaré au printemps 1933 :

« Ainsi l'esprit de l'économétrie a plus d'affinité avec l'esprit qui règne dans les sciences physiques et dans les sciences de l'ingénieur qu'avec celui que l'on trouve dans les sciences philosophiques et dans les autres sciences humanistes. Vous pouvez peut-être considérer cette affinité entre l'économétrie et les sciences physiques et mathématiques, comme la justification du fait qu'une série de conférences sur l'économétrie soit donné dans cette institution ». (Frisch, 1933 in Bjerkholt et Dupont-Kieffer, 2009, L0, 1⁴)

Cet espoir de découvrir des régularités dans l'action humaine sous-tend la conviction de Frisch selon laquelle l'économie est susceptible d'analyses purement « scientifiques ». Le développement de l'économétrie par Frisch repose sur l'hypothèse forte que le comportement

³ Les notes prises par Frisch en 1924-25 lors de ses années de formation —à l'Université d'Oslo et lors ses séjours à l'étranger, notamment en France, en Grande-Bretagne et en Italie— n'ont jamais été publiées mais nous avons pu les consulter à l'Institut d'Economie de l'Université d'Oslo (anciennement stockées dans la 'Frisch romet').

⁴ Je me réfère ici à l'édition des conférences Poincaré in Bjerkholt and Dupont-Kieffer (2009), notamment pour les numéros de page. Cette édition est la traduction et la mise en forme des notes préparées par Frisch pour ces conférences. Les notes initiales ont été directement rédigées par Frisch en français et furent traduites par les éditeurs pour la publication chez Routledge. Nous utilisons ici la version originale des notes en reprenant les maladresses stylistiques de Frisch.

humain a besoin d'être décrit par des lois universelles. Après avoir opéré implicitement une première réduction du monde social au monde physique, Frisch considère dès lors que la mécanique sociale est régie par des régularités. Il opère alors une deuxième réduction : le tout est saisissable à partir du particulier. S'agit-il ici d'une hypothèse réductionniste?

Le « réductionnisme » peut prendre deux significations. Dans le premier cas, le réductionnisme est une démarche qui cherche à expliquer les phénomènes sociaux à partir des comportements individuels, agrégés ou non. Dans le deuxième cas, le réductionnisme stipule que la connaissance se construit sur une base empirique, constituée soit par les données des sens, soit par les états des choses physiques, soit par le comportement observable. A ce point de l'argumentation, je prends en compte la première définition pour caractériser le point de vue de Frisch sur les régularités du monde économique et social qui peuvent être dégagées des lois statistiques, et non la seconde. En effet, si Frisch insiste sur le rôle primordial des données empiriques, il ne s'agit pas de données des sens mais de données construites rationnellement. Frisch opère deux types de réduction : le premier est physicaliste, c'est-à-dire que Frisch réduit le monde social au monde physique. Le second est réductionniste c'est-à-dire que le tout peut se comprendre à partir du particulier. Ainsi, dans la perspective ouverte par les travaux de Quételet, Frisch considère possible l'application de la loi des grands nombres à la découverte des régularités du monde social.

L'ambition positiviste de Frisch se traduit donc par une tentative d'articuler-sans imposer le primat de la première sur la seconde- l'économie mathématique et les statistiques économiques, sur la base d'une hypothèse implicite, selon laquelle le monde économique serait structuré par des régularités de type mécanique. Cette hypothèse est tardivement explicitée dans le discours prononcé en 1970 lors de la réception de son « prix Nobel »⁵ :

« La science a un besoin constant de régularités (...). La recherche des régularités peut être pensée comme l'essence du mot comprendre » (Frisch, 1970, 219).

C'est en dressant le bilan de sa carrière qu'il s'interroge sur la nature de la « réalité ultime », alors qu'il ne se posait pas encore la question en 1926. Son interrogation peut être résumée à l'alternative suivante : la réalité est-elle chaos ou mécanisme d'horloge ? Le scientifique découvre-t-il ou crée-t-il ces régularités ? Sans rentrer dans un débat qui opposerait « Lamarck à Darwin » (Frisch, 1970, 219), il préfère considérer que la survie de l'espèce

⁵ Frisch ne reçut son prix qu'en juin 1970 car s'étant cassé la jambe en 1969, il ne put assister à la cérémonie officielle initialement prévue pour l'attribution du premier prix Nobel attribué en Économie en 1969. Frisch et Tinbergen furent les premiers lauréats de ce prix pour leur contribution à l'économétrie.

humaine commande de vivre dans un monde régi par des régularités, qui le rendent prévisible et permettent en sus d'agir sur lui de manière à améliorer les conditions de vie de l'Homme. Il considère que dans l'éventualité où la « réalité ultime » n'est que chaos, l'espèce humaine a réussi à créer les régularités nécessaires à sa survie :

« Si la "réalité ultime" est chaotique, la somme dans le temps des évolutions —biologiques et scientifiques— conduit à produire une immense transformation singulière qui, au bout du compte, place l'homme dans un monde de régularités » (Frisch, 1970, 219).

L'objet de la science économique devient donc à ses yeux la formulation de lois d'action du comportement humain : la connaissance de ces régularités à l'œuvre dans ce monde chaotique permet de les maîtriser.⁶ En effet, l'objectif poursuivi par Frisch n'est pas de produire un « jeu d'amusement intellectuel » pour « ceux qui sont suffisamment éduqués pour être capables de suivre ce jeu » (Frisch, 1970, 219). L'idée est bien que le résultat des efforts engagés dans la recherche scientifique puisse servir à « l'amélioration du destin des communs des mortels » (Frisch, 1970, 219). A cette fin, il faut découvrir les lois universelles⁷ et non historiques⁸ qui régissent la sphère économique : à l'instar du monde physique, le monde social est une mécanique incarnée, mécanique qui n'est pas historiquement déterminée.

Pour décrire cette mécanique sociale Frisch recourt à la figure d'un « homme universel », dont les caractéristiques, les droits et le comportement sont, par hypothèse,

⁶ Cette vision du monde et de la science est développée lors de la huitième et dernière conférence qu'il donne à Paris à l'Institut Henri Poincaré au printemps 1933. Cf. O. Bjerkholt et A. Dupont-Kieffer (2009, 2010, 2011). Elle remet en cause le déterminisme supposé de Frisch et montre que sa vision chaotique du monde lui impose justement la recherche et l'identification de régularités grâce à l'investigation scientifique et la formulation de lois. Son adhésion supposée au déterminisme serait plutôt à relier à son manque de confiance dans les méthodes probabilistes.

⁷ Cet attachement à la définition de lois universelles ne fait pas de Frisch un positiviste au sens comtien, bien au contraire. Comme le rappelle Callens, Comte était attaché à la contingence historique. En ce sens, il est justifié de qualifier la démarche de Mitchell de positive: « Trois volets complémentaires composent la restriction de la mesure par Comte et ses successeurs. La relativité historique casse toute invariance par rapport au temps, la définition des mathématiques est réduite à des procédés de cotation, et enfin la non-mesurabilité est constitutive de domaines d'objets, domaines qualifiés de complexes. Les applications de l'analyse mathématique se voient ainsi contestées par la négation de l'existence d'invariants trans-historiques, la négation d'une capacité abstractive indépendante, et une défense faite de s'introduire dans des domaines tels que la biologie et la science sociale » (Callens, 1997, 260-261).

⁸ Frisch pose une analogie entre les lois économiques et les lois mécaniques, lois qu'il considère comme universelles et non historiques. On retrouve cette conviction dans son opposition à Mitchell quand Frisch distingue sa propre dynamique analytique à la dynamique historique de Mitchell. Ce sont deux méthodes d'analyse distinctes que l'on peut différencier en raison de l'objet même étudié. Comme nous l'avons montré (Dupont-Kieffer, 2001), Mitchell étudie une économie historiquement déterminée alors que Frisch évacue toute dimension historique de l'objet social que peut être l'économie pour en faire un objet universel.

indépendants des lieux et des temps historiques⁹. La science économique doit s'attacher à décrire et à expliquer les comportements de cet être universel à partir de diverses opérations de mesure.

Frisch en appelle à la loi des grands nombres et aux régularités statistiques pour répondre à l'éventuelle objection quant à la possibilité de dégager des lois du comportement humain. En ce sens, il semble pertinent d'inscrire Frisch dans la lignée de Quételet.

Dès 1926, Frisch affirme avec vigueur que la masse des phénomènes fait apparaître des régularités alors que ses composantes semblent ne suivre aucune loi. La prise de conscience de la difficulté à opérer une comparaison interpersonnelle des intentions et des motivations —au sens d'une comparaison fondée sur l'évaluation— est explicite lorsqu'il s'agit pour lui de mesurer l'utilité marginale¹⁰. Certes, les considérations psychologiques n'autorisent pas les économistes à comparer les utilités entre les individus et par conséquent ne permettent pas de donner une définition universelle de ce qu'est l'utilité pour un être humain. Il faut donc trouver un moyen de dépasser les idiosyncrasies humaines pour dégager des régularités et des lois du comportement sur lesquelles l'économiste doit pouvoir appuyer sa connaissance des mécanismes économiques. Il est possible pour Frisch, de dépasser ces singularités, car l'objet des régularités ne porte pas sur les motivations psychologiques, mais sur les choix et les actions concrètes qui sont le produit des réflexions de chaque individu. Comme Quételet, Frisch considère qu'il faut se concentrer non pas sur ce qui motive l'individu, mais sur les conséquences de ses choix, qui sont saisissables au travers d'actes concrets (comme les différents types de crime ou d'actes de violence chez Quételet, les actes d'achat et de vente sont mesurables en termes de prix nominaux, de quantités échangées chez Frisch).¹¹

⁹ Faut-il rattacher sa définition du caractère universel de l'Homme à ses convictions et croyances chrétiennes ? Il est évident que ce rattachement de l'universalisme de Frisch à son christianisme est une explication qui reste encore à démontrer bien qu'Andvig (1985), Bjerkholt (2000) et Andvig et Tonstad (1998) aient mis en évidence l'influence de ses convictions religieuses sur sa conception du monde et de l'homme, et plus spécifiquement sur son engagement dans la politique économique afin de lutter contre les effets de crise ou de favoriser le développement économique. On peut tout au plus supposer, faute de références, à partir de ses prises de position publiques dans la presse, à la radio ou en chaire. Ainsi, Frisch considère la liberté politique et économique attachée à la notion d'individu comme une donnée universelle, propre à la condition humaine.

¹⁰ Cf Dupont-Kieffer, A. (2013).

¹¹ Il ne s'agit pas d'éliminer le point de vue subjectif de l'analyse économique. Il regrette d'ailleurs que « les classiques n'aient jamais réussi à proposer une compréhension complète de l'aspect subjectif de toute activité d'évaluation » (Frisch, 1932b, 98). Le grand mérite des néo-classiques, et tout particulièrement de Marshall, est, à ses yeux, d'avoir unifié « le point de vue subjectif et le point de vue des coûts de production » (Frisch, 1932b, 98). La théorie économique doit rendre compte de la diversité des facteurs qui sont à l'œuvre dans les phénomènes économiques car « le processus économique est un phénomène d'équilibre dans lequel des facteurs techniques de production et des facteurs psychologiques jouent un rôle » (Frisch, 1932b, 98).

Dès lors, une fois admise la possibilité d'une explication objective de phénomènes sociaux sur la base de la mesure des conséquences des choix des individus, Frisch est conscient de la nécessité de dégager un type 'idéal' ou 'moyen' à partir des régularités statistiques observées. L'aptitude à définir un individu typique, très proche, semble-t-il, de « l'homme moyen », constitue donc l'enjeu principal. Frisch justifie sa position par une analogie entre les agents économiques et les entités chimiques :

« Mais dans le monde économique comme dans le monde des molécules, ce qui importe ce n'est pas de faire la description individuelle des éléments, mais d'arriver à la connaissance de certaines propriétés moyennes qui caractérisent l'ensemble des éléments » (Frisch, 1926b, 23).

Il s'appuie sur la possibilité de définir et de mesurer des dispositions d'un individu typique à partir de données statistiques :

« Pour rechercher la disposition de cet individu typique, l'économie pure ne peut pas comme les sciences physiques avoir recours à l'expérience en laboratoire, mais en compensation elle dispose d'un matériel d'observation statistique énorme » (Frisch, 1926b, 23).

De la masse des observations statistiques parcellisées peuvent être dégagées des caractéristiques générales. Dans l'ouvrage de 1932, *New Methods of Measuring Marginal Utility*, Frisch évoque ce qu'il appelle un individu « moyen » :

« Lors de la tentative de déterminer statistiquement la forme de la courbe de consommation, il sera rarement possible de suivre le comportement d'un individu particulier (ou d'une famille particulière). Le plus fréquemment, il sera nécessaire d'avoir recours à des données relatives à un groupe entier d'individus (ou de familles). Au lieu d'étudier la relation fonctionnelle entre la quantité x [quantité de bien consommé] et r [revenu réel] relative à un seul individu, nous devons souvent étudier la relation fonctionnelle entre la consommation moyenne \bar{x} d'un groupe, et le revenu réel moyen \bar{r} de ce groupe » (Frisch, 1932a, 21-22).

Frisch considère donc, ici, des « entités » moyennes et des « comportements » moyens, et non pas un « individu » moyen. Il s'agit d'un glissement lexical qui ne saurait surprendre car les

régularités qui caractérisent l'homme moyen ne sont saisissables qu'à travers ses actes. Les réflexions, dans la suite du texte, sur les écarts de comportements par rapport à la moyenne amènent à penser qu'il a en tête de définir un comportement représentatif : au début de *New Methods of Measuring Marginal Utility*, Frisch se demande d'ailleurs si étudier la relation fonctionnelle entre deux valeurs particulières des variables considérées revient à étudier la même relation fonctionnelle entre les valeurs moyennes des dites variables, et ce en raison de la nature de la dispersion de la distribution. Il se trouve donc dans l'obligation de justifier son recours au concept de moyenne, et c'est à ce moment là, que l'on peut entrevoir que les concepts de « variable moyenne » ou « entité moyenne » sont à la base de la définition de l'« individu typique ». Ainsi, partant de l'hypothèse qu'il existe une relation fonctionnelle entre deux variables, c'est cette relation qu'il cherche à préciser théoriquement et à tester.

En l'occurrence, il cherche à caractériser la fonction de demande, à savoir que la quantité x de sucre consommée, est fonction du revenu réel r de l'individu. Soit une relation fonctionnelle comme x fonction de r , et soit inversement r en fonction de x ; ce qui donne par exemple : $x = h(r)$ et $r = k(x)$. Il semble possible, sous certaines hypothèses, de poser que $k(x)$ est la fonction inverse de $h(r)$ puisque « ces deux fonctions expriment la même relation, il existe évidemment une intime relation entre elles » (Frisch, 1932a, 22); soit $h^{-1}(x)$ la fonction inverse de $h(r)$ alors on peut écrire : $k(x) = h^{-1}(x)$. Il calcule la moyenne de r par $r = k(x)$, ce qui donne la moyenne directe, \bar{r} mais également par la fonction inverse soit $k(x) = h^{-1}(x)$, ce qui donne la moyenne indirecte, $\bar{r} = h^{-1}(x)$. Frisch montrera, en économie, que moins la distribution sera étendue, moins l'écart entre la moyenne directe et la moyenne indirecte sera grand. Alors, la fonction $h(r)$ sera d'autant plus linéaire ; cette linéarité rendant la relation entre les deux variables économiquement significative.

Or, il apparaît ainsi clairement que Frisch cherche à identifier des fonctions linéaires, seules susceptibles à ses yeux d'exprimer simplement une relation causale déterminée. Son objet est explicitement exposé lorsqu'il cherche la condition pour laquelle les moyennes directe et indirecte de l'argument de la fonction s'égalisent de telle sorte que la fonction ait une forme linéaire¹² —« cette condition est remplie pour la plus grande partie de la dispersion [over that range r where the bulk of the individuals are found]. Plus la distribution est concentrée, plus la fonction prend la forme d'une ligne droite » (Frisch, 1932a, 25). Cette

¹² Comme le montrent Israel (cours donnés à l'université Paris I dans le cadre du DEA d'épistémologie économique au printemps 2002) et Armate (1995), la recherche de fonctions linéaires est le propre de savants raisonnant dans un cadre déterministe. Il est clair que pour Frisch les fonctions linéaires sont les plus significatives car elles expriment simplement une causalité unique et univoque.

fonction linéaire décrit alors une relation causale valable pour la classe statistique caractérisée par un écart faible voire nul entre les moyennes directe et indirecte des variables considérées. Cette fonction linéaire décrit par conséquent le comportement moyen observé pour les variables d'une classe homogène d'agents.

On constate que la distribution de chaque variable, notamment le revenu réel, est très étendue lorsque l'on considère la population dans sa globalité. Frisch propose de décomposer la population en sous-classes de revenus de manière à ce que « la dispersion de la distribution de chaque classe de revenu soit suffisamment concentrée pour qu'au sein de chaque classe la fonction de revenu puisse être considérée comme approximativement linéaire » (Frisch, 1932a, 26). On voit ici que Frisch cherche à limiter la dispersion des distributions étudiées afin de pouvoir dégager une fonction linéaire représentative des choix économiques opérés par chaque classe homogène composant une population donnée.

La construction de la figure de l'« individu typique » est l'élément central de sa démarche de connaissance car c'est par elle qu'il tente de quantifier et mesurer les régularités qui structurent le monde social. Il faut distinguer ici deux aspects du « réductionnisme » de Frisch afin de mieux saisir sa démarche de modélisation structurelle :

1) Il reconnaît la nécessité de définir un « idéal type », qui est pour lui le résultat de l'étude des régularités statistiques. En ce sens, Frisch s'inscrit dans la droite ligne des travaux de Quételet. Mais cette définition ne peut s'établir qu'une fois admise l'idée que ces régularités statistiques décrivent des faits « objectifs » : les caractéristiques du comportement humain sont saisissables à travers des actes qui peuvent faire l'objet d'une évaluation quantitative.¹³

2) De façon générale, le réductionnisme en sciences sociales suppose de se pencher sur les rapports entre le singulier et le tout. L'articulation entre les niveaux microéconomique et macroéconomique de l'analyse n'est jamais clairement définie par Frisch, même dans son

¹³ Avant de se pencher sur la découverte de ces régularités, il lui faut préciser l'objet même de ces régularités. Frisch a certes conscience de la difficulté à parler d'universalité quand l'économiste doit s'attacher à décrire des êtres humains animés par des ressorts psychologiques différents. Il va falloir étudier des faits objectifs et non subjectifs : comment rationaliser l'irrationnel à l'image de la question posée par Quételet lors de ses études du crime ou du suicide. Le grand apport de Quételet sera de montrer que les phénomènes sociaux peuvent être également soumis à des principes d'observation à l'instar des phénomènes physiques. Cette évolution épistémologique n'a pu se réaliser qu'à la condition qu'ait pu s'opérer une naturalisation de l'homme (cf. Daston, 1983). Mais comme le souligne Armatte (1991b, 91), cette naturalisation de l'homme s'accompagne chez Quételet de l'hypothèse d'une inadéquation entre l'ordre moral et l'ordre social, et ainsi « l'appareil statistique de la théorie des erreurs sera le vecteur de la reconstruction du lien social » (Armatte, 1991b, 91). A cette fin, doit être résolue la question de la mesure des qualités morales. La solution de Quételet est la suivante : « les qualités morales ont des effets sociaux que l'on peut mesurer » (Armatte, 1991b, 92).

discours de 1970. Il est vrai que c'est une question nouvelle à l'époque.¹⁴ Ainsi, suppose-t-il implicitement que des extrapolations de l'analyse des comportements microéconomiques peuvent servir à celle des comportements macroéconomiques. Il ne considère cependant pas nécessaire de définir plus précisément le passage d'un niveau à l'autre en dehors du recours à la figure de l'individu typique ou à la figure du secteur. Rien n'est dit sur les procédures d'agrégation, sur la difficulté à articuler l'analyse macroéconomique et l'individualisme méthodologique. Tout semble se passer comme si la construction de cette figure résolvait à elle seule la question de l'articulation entre les niveaux microéconomique et macroéconomique.

1A2. Une démarche scientifique qui repose sur deux opérations : la quantification et la mesure

L'admiration de Frisch pour les sciences physiques le pousse à assimiler la connaissance scientifique à une démarche qui couple quantification et mesure des phénomènes étudiés.

a. Faire du monde social un monde physique : une simple analogie avec la physique ?

Frisch souligne le caractère fructueux de l'analogie entre les concepts économiques et les concepts issus des sciences physiques, plus précisément de la théorie mécanique classique :

« Examinons de plus près l'analogie qui est souvent posée entre l'étude de l'équilibre mécanique et celle de l'équilibre économique. La force est définie dans la théorie mécanique classique en termes de mouvement et de masse, et par conséquent à partir de la catégorie de phénomènes —dont l'équilibre (statique ou dynamique)— qui peuvent être expliqués à partir du concept de force. Et pourtant le concept de force est relativement nouveau pour la recherche théorique. La théorie mécanique apparaîtrait toutefois comme une science bien rudimentaire si elle n'était pas

¹⁴ Toutefois, après avoir insisté sur cette possibilité d'extrapolation d'un niveau à l'autre (avec la possibilité d'extrapoler les cycles de réinvestissement au niveau macroéconomique à partir de son étude au niveau microéconomique de 1927b, cf. (Dupont-Kieffer, 2012), il constate parfois, que ce qui est bon ou vrai pour un individu ne l'est pas pour la société ; par exemple il est bon pour un individu d'épargner en temps de crise, alors que ce comportement d'épargne est nuisible pour la communauté (exemples avancés dans le discours pour la réception du prix Nobel (1970)). Il reconnaît là qu'il y a bien deux niveaux distincts d'analyse, les niveaux microéconomique et macroéconomique et sa définition de « l'individu typique » permettra l'articulation de ces deux niveaux.

capable de fournir un concept de force qui puisse être opératoire. Ceci est rendu possible grâce à un seul axe de recherche : la cinématique, devenue le passage obligatoire dans la mécanique contemporaine avec deux autres analyses principales : la statique et la dynamique. On fait souvent abstraction de la signification métaphysique ou causale du concept de force et on passe directement à la définition de la force comme étant un paramètre d'un système que l'on s'attachera à détailler précisément (...). La manière de poser le problème se résume alors à une question de définition de paramètre. Et c'est ce qui la rend justement fructueuse.

Le même type de raisonnement rigoureux peut être tenu pour le concept d'utilité marginale dans la théorie du choix. Le concept d'utilité marginale est l'équivalent économique du concept de force. L'utilité joue le même rôle dans la problématique de l'équilibre économique que la force dans la théorie de l'équilibre en mécanique » (Frisch, 1926a, 316-317).

Le rôle du concept mécanique de force dans l'explication de la formation de l'équilibre mécanique est donc similaire ou analogue à celui du concept d'utilité marginale dans l'explication de la formation de l'équilibre économique. Frisch poursuit l'analogie en présentant l'utilité marginale comme un problème de rapport de masse¹⁵, qui va expliquer la direction et l'étendue du déplacement du vecteur des choix du consommateur dans le champ de ses choix¹⁶. Chaque agent se déplace jusqu'à ce qu'il trouve son « centre de gravitation » dans le plan considéré, *i.e.* « le point à partir duquel la courbe d'utilité se fixe (...) et aucune force ne pourra le pousser à se déplacer » (Frisch, 1926a, 320). Il s'agit alors d'étudier le « mécanisme » qui permet d'atteindre ce « centre de gravitation » (Frisch, 1926a, 320). Frisch représente l'utilité marginale sous la forme d'un vecteur « force » dans un champ gravitationnel, et l'équilibre économique est comparé au centre de gravitation que l'on retrouve dans la théorie de l'équilibre physique. L'analogie devient alors emprunt, et il

¹⁵ Frisch s'attarde à tracer des graphiques pour représenter le champ de choix du consommateur et il y apparaît clairement qu'il utilise pour définir l'utilité marginale la représentation vectorielle couramment employée en physique pour définir le concept de force.

¹⁶ Cf. Dupont-Kieffer, A. (2013). Frisch situe chaque consommateur dans un plan qui représente sa contrainte budgétaire. Le point de départ du premier vecteur de déplacement représente ses conditions initiales. Chaque vecteur traduira un gain d'utilité lié à l'achat et la consommation d'une unité supplémentaire d'un bien du panier de biens. L'ensemble des biens constitue l'ensemble du plan.

semble y avoir peu de doute dans l'esprit de Frisch sur l'existence d'un isomorphisme entre le monde physique et le monde économique.

Frisch semble retenir par cette analogie entre le monde physique et le monde économique trois éléments pour le développement de sa propre démarche scientifique et de son programme de recherches : 1) le rôle des mathématiques comme moyen heuristique et comme garantie de précision et de rigueur ; 2) les descriptions quantitatives des phénomènes, des objets et des causalités recherchées ; et 3) la distinction entre mesure et quantification des concepts étudiés —la quantification renvoie au nombre abstrait, à la formulation de lois théoriques, alors que la mesure renvoie au nombre concret *i.e.* à la valeur numérique d'un concept quantitatif.

b. Différence entre quantification et mesure chez Frisch

La capacité à accorder le nombre abstrait et le nombre concret définit, pour reprendre la terminologie de Brian Ellis (1968, chapitres 2 et 3), la capacité à articuler mesure théorique et mesure empirique.

Un nombre abstrait est un concept quantitatif qui existe en dehors de toute opération de mesure, à savoir :

« La quantité est souvent considérée comme une sorte de propriété. Elle est pensée comme un type de propriété qui suppose des degrés et qui peut être contrastée avec le type de propriétés qualitatives qui décrit un état idiosyncrasique [all-or-none character] (par exemple être enceinte, être cramoisi) (...). La quantité comme la qualité sont inhérentes aux objets (...). Elles préexistent à toute opération de mesure. Les procédures de mesure sont alors conçues comme l'opération qui consiste à assigner des nombres pour représenter les magnitudes de ces quantités préexistantes ; dans l'idéal on considère que les nombres alors trouvés sont proportionnels aux magnitudes »
(Ellis, 1968, 24, notre traduction pour toutes les citations d'Ellis).

Ellis souligne que, s'il peut être difficile d'admettre que la quantité soit une caractéristique intrinsèque des objets, on peut admettre que cette caractéristique se révèle dans le rapport des objets des uns aux autres ; et « même les plus ardents positivistes et opérationnalistes reconnaissent le principe de Bridgman (1927) de la signification absolue de la magnitude

relative » (Ellis, 1968, 3). C'est pourquoi, Ellis conclut qu'il existe un commun accord sur le fait qu'un concept quantitatif peut être défini par « un ensemble de relations linéaires ordonnées et établissant un ordre [*linear ordering relationships*]¹⁷ » (Ellis, 1968, 31). La mesure « sera le lien entre les mathématiques et la science » (Ellis, 1968, 1). Les mesures théoriques et empiriques —ou la quantification et la mesure pour reprendre la terminologie de Frisch— sont donc associées à la définition des concepts quantitatifs abstraits et concrets, ceux-là même qui permettront de formuler des lois causales quantitatives.¹⁸

Quant à la question de savoir si les concepts numériques sont donnés par la nature ou s'ils « découlent de la pratique qui consiste à appliquer des nombres aux phénomènes naturels » (Ellis, 1968, 107), il est nécessaire de bien distinguer les quantités, comprises comme des magnitudes, et définies par un ensemble de relations et d'outils mathématiques, des nombres qui relèvent de l'analyse statistique. La présentation d'Ellis met donc en évidence la présence de deux objets à mesurer : un objet abstrait et un objet concret, qui correspondent respectivement à un nombre abstrait et un nombre concret¹⁹ : « on peut distinguer deux concepts pour toute [autre²⁰] quantité, l'un logique et l'autre empirique » (Ellis, 1968, 3).

Le premier conduit à la formulation de termes²¹ théoriques alors que la seconde conduit à la formulation de termes non-théoriques ou observationnels. Il s'agira ensuite de trouver des règles de correspondance²² entre les deux niveaux²³.

¹⁷ Il est possible de se reporter à la démonstration d'Ellis (1968, 27-32), dans laquelle il reconnaît que ce n'est pas un ensemble de relations quantitatives qui rend un concept quantitatif. Ainsi, « toute relation d'égalité quantitative doit être en fait symétrique et transitive, quoique toute relation symétrique et quantitative ne soit pas une égalité quantitative ; des relations d'égalité qualitative sont aussi transitives et symétriques. Toute relation d'inégalité quantitative doit être asymétrique et transitive. Mais toutes les relations asymétriques et transitives ne sont pas des relations d'inégalité quantitative ; la relation de causalité est asymétrique et transitive, mais il ne s'agit pas d'une relation 'plus grand que' ou 'moins grand que'. Pour toute quantité donnée p , il doit exister trois relations possibles d'égalité ou d'inégalité quantitative – une relation 'plus grand en p que', une relation 'égale en p à' et une relation 'moins grand en p que', les deux dernières étant des relations contraires. Ces trois relations prises ensemble doivent former un groupe d'alternatives mutuellement exclusives » (Ellis, 1968, 26). C'est pourquoi il va insister sur la notion de relations quantitatives ordonnées.

¹⁸ « Les lois causales sont celles qui permettent de prédire et d'expliquer des événements. L'ensemble de ces lois décrit la structure causale du monde » (Carnap, 1973, 210).

¹⁹ Nous devons cette distinction à Pierre Duhem (1906). Elle permet d'envisager comment l'association entre nombre abstrait, étalon et nombre concret permet de faire de la physique une arithmétique universelle.

²⁰ Ellis (1968) distingue deux types de quantité, le nombre et la probabilité. Il montre au chapitre XI que la pratique scientifique distingue deux types de probabilité, une probabilité logique et une probabilité empirique. Il reprend explicitement la distinction opérée par Carnap (1950) pour montrer que cette distinction s'applique à tout concept quantitatif (la température, la masse, la longueur, etc.) (Ellis, 1968, 160). Pour mémoire, selon Carnap (1973, 41-42), « la probabilité statistique est donc bien un concept empirique utilisé dans toutes les sciences ; les énoncés correspondants sont des énoncés synthétiques qui ne relèvent pas de l'autorité de la logique mais reposent sur des investigations expérimentales (...). Le type de probabilité logique est analytique parce qu'il ne nécessite aucune confrontation à l'expérience. Il exprime une relation logique entre une proposition qui énonce les observations et une proposition qui énonce l'hypothèse ».

²¹ Un terme ne doit pas être confondu avec un énoncé qui est une expression dans une langue quelconque d'un jugement de fait ou de droit. Les énoncés s'appuient souvent sur des termes. Comme le souligne Carnap (1973, 204) certains de ces énoncés prennent la forme de lois. Ce qui m'intéresse ici, ce sont les termes

Cette distinction pose la question du rôle de l'observation dans le travail scientifique de Frisch.

Le nouveau développement scientifique que Frisch appelle de ses vœux dans l'essai de 1926, « La formulation quantitative des lois économiques », ne trouvera sa forme accomplie qu'à la condition que soit établi un « nouveau point de contact entre la théorie économique et la vie économique » (Frisch, 1926a, 302). Ce qui correspond plus précisément au moment où il est possible de concrétiser un lien entre les concepts abstraits de la théorie économique et la « vie économique telle qu'elle se reflète dans les données numériques fournies par la statistique économique » (Frisch, 1926a, 303) ou le « matériel statistique » ou encore les « adhérences » [*griepunkt*] (Frisch, 1926a, 315).

Frisch effectue un rapprochement avec le rôle de l'observation dans la définition des concepts théoriques, notamment dans (Frisch, 1932a, 99) et dans (Frisch, 1970, 221).

« En apparence —et seulement en apparence— le développement de la théorie économique [depuis les classiques] a conduit à éloigner la théorie de la vie économique (...). Il a été trouvé un nouveau point de contact entre la théorie économique et la vie économique, et ce point de contact d'un ordre supérieur signifie beaucoup pour la science économique (...). On peut dire que la théorie économique se trouve dans la phase de développement que les sciences de la nature théoriques, et plus particulièrement la physique théorique, connaissent depuis longtemps, c'est-à-dire la phase où la théorie tire ses concepts des techniques d'observation » (Frisch, 1926a, 302).

Cet accent sur le rôle assigné aux valeurs numériques dans le processus de découverte scientifique en économie est rappelé à la fin de sa carrière :

théoriques et/ou empiriques quantitatifs et les énoncés sur lesquels se fondent réciproquement les lois théoriques et empiriques (ou expérimentales).

²² Les règles de correspondances sont des énoncés mixtes qui donnent une interprétation indirecte et partielle aux termes théoriques en les mettant en relation avec des termes non-théoriques. On peut trouver des exemples de règles de correspondance dans l'élaboration du 'dictionnaire' de Campbell (1920) ou encore dans la définition des « règles opératoires » de Bridgman (1927).

²³ Il me semble que les recherches menées par Frisch autour des questions de l'identification peuvent être rapprochées d'une réflexion sur la définition des règles de correspondance entre les énoncés théoriques et les énoncés observationnels, et ou plus généralement pour reprendre la terminologie de Carnap (1950), entre les lois théoriques et les lois empiriques.

« Aussi longtemps que la théorie économique travaillera sur une base purement qualitative sans essayer de mesurer la grandeur numérique des différents facteurs, aucune "conclusion" ne pourra en pratique être tirée ni défendue » (Frisch, 1970, 221).

C'est pourquoi, il lui paraît important de ne pas dissocier la mathématisation de la théorie pure de la tâche économétrico-statistique. Le progrès de la connaissance naîtra donc de l'alliance de l'économie mathématique et de l'observation statistique :

« La substance des observations est une masse inerte jusqu'à ce que la vie lui soit donnée au moyen d'une spéculation théorique constructive. Ce n'est qu'à travers la synthèse de la théorie et de l'observation que l'on peut comprendre en détail les phénomènes » (Frisch, 1932a, 22).

La création de l'Institut d'Economie à Oslo en 1932 s'appuiera sur la nécessité « d'établir une connexion intime entre la théorie économique et ce qui se passe réellement dans l'industrie » (Bjerkholt, 2000, 7) qui se réalisera grâce au modèle structurel et à l'analyse de la confluence.

1A3. Le primat théorique et le besoin de règle de correspondance

L'économétrie de Frisch est indissociable de sa démarche de modélisation ; mais de quel « modèle » s'agit-il ? Même si les quatre modèles de la classification établie en 1968 par Achinstein (1968) (le modèle représentationnel, le modèle analogique, le modèle théorique et le modèle imaginaire)²⁴ sont présents dans les modélisations économétriques de Frisch ou

²⁴ Pour une présentation concise de la classification d'Achinstein, on peut se rapporter à Nadeau (1999, 417-418) : « a) le modèle représentationnel (ou iconique) entend représenter physiquement un certain prototype de telle façon qu'il soit possible de se servir du modèle pour effectuer certaines expériences ou calculs au sujet du prototype : modèle et prototype ont censément une structure similaire, ils sont supposés isomorphes (...). b) Le modèle analogique se distingue du modèle représentationnel en ce qu'il ne reproduit pas les propriétés du prototype, mais se situe plutôt dans une relation analogique avec lui (...) c) Le modèle théorique est tout à fait différent des deux premiers : il ne s'agit plus ici d'un objet Y (le modèle) que l'on met en relation avec le prototype (un objet ou système) X, mais de suppositions au sujet de X. Le modèle théorique attribue à X une structure interne, une composition ou un mécanisme destiné à rendre compte de certaines propriétés manifestes de X. (...) d) Quant au modèle imaginaire, il décrit également un objet ou un système X à l'aide de suppositions, mais sans se commettre quant à la vérité (même approximative) de ces suppositions, voire quant à leur plausibilité. En fait, le modèle imaginaire entend montrer que, puisque X présente telle et telle propriétés, alors il est au loin possible, d'un point de vue logique, de supposer que X est constitué de la façon Z, et ce indépendamment de la vérité et de la plausibilité de Z ».

encore de Tinbergen, aucun ne peut rendre compte de toutes les dimensions heuristiques telles de la modélisation économétrique. Une caractérisation de cette dernière nécessite de dépasser une telle classification, ce que proposent les travaux développés par Mary Morgan et Margaret Morrison pour qui les modèles économétriques sont le lieu d'une intermédiation entre la théorie et le réel qui leur permettent de « fonctionner comme des instruments d'investigation » (Morgan et Morrison, 1999, 10-11). Leur analyse de la modélisation en sciences physiques et en sciences économiques éclaire alors deux dimensions centrales de la modélisation frischienne.

D'une part, la modélisation incorpore des éléments théoriques et des éléments empiriques, et représente à ce titre un objet hybride : dans la pratique, la modélisation frischienne revêt ce caractère hybride, qui en fait tout l'intérêt quand on insiste comme Frisch sur la définition du modèle comme lieu d'articulation entre le nombre abstrait et le nombre concret. D'autre part, l'un des résultats intéressants des travaux de Morgan et Morrison, pour notre propos, porte sur l'autonomie des modèles, tant par rapport à la théorie qu'aux faits, ce qui leur fait dire que les modèles sont des « agents autonomes » (*ibid.*, 10-11).

Les deux caractéristiques de la modélisation dans l'œuvre de Frisch sont la notion de structure et l'analyse de la confluence. La structure constitue le cœur ou le noyau du modèle. Cet ensemble d'équations est le fruit d'allers et retours entre l'économie mathématique et l'estimation statistique des modèles mathématiques. La détermination de la structure suppose de poser des hypothèses sur le type d'erreur que l'on peut rencontrer lors de la phase d'identification des relations et des variables théoriques au sein des données statistiques et comptables. La modélisation frischienne repose sur l'adhésion implicite à la loi des erreurs²⁵. La détermination de la structure et celle du modèle repose sur l'analyse de la confluence. Cette dernière pose le modèle à la fois comme un lieu d'expérimentation -un moment de confrontation entre son cadre théorique et la réalité telle qu'elle peut être saisie par les données statistiques et comptables et ce faisant comme le moment²⁶ de la vérification- et un

²⁵ La loi des erreurs suppose une définition de l'erreur comme une erreur de mesure. Comme le montre Armate (1991a, 63 et 68), cette conception est issue des géomètres des Lumières (1750-1830), et sera au cœur de la mesure chez Quételet.

²⁶ Il ne s'agit pas chez Frisch d'économie expérimentale telle que qu'elle a pu se développer à partir de la théorie de la décision et de la théorie des jeux ou des travaux d'Edward Chamberlin, et telle qu'elle a été récompensée par l'attribution du prix de la Banque de Suède en mémoire d'Alfred Nobel à Vernon Smith et à Daniel Kahneman en 2002. Il ne s'agit pas pour Frisch de tester les hypothèses des modèles économiques pour comprendre les déterminants et les éléments de la décision individuelle. Il s'agit pour lui de faire du modèle le lieu même de l'expérimentation ou le moment de l'articulation entre les opérations de mesure et de quantification.

outil de prévision et/ou de prédiction. L'analyse de la confluence donne au modèle son autonomie par rapport tant à l'économie mathématique qu'à l'économie statistique.

a. L'observation guidée par la théorie

Pour Frisch, si l'observation est indispensable à la découverte scientifique, elle doit « être guidée par la théorie » : pas de démarche purement empiriste, pas de positivisme comtien, mais peut-être un rapprochement possible avec le positivisme logique. (Boumans, M. et J.B Davis, 2010, chapitre 2). Il n'y a pas de « mesure sans théorie ». C'est sur ce point méthodologique que Frisch s'est opposé à Wesley Clair Mitchell.²⁷

Comme Frisch l'explique dès 1926 (1926a, et surtout 1926b), dans une démarche de modélisation, la théorie s'articule aux faits en trois temps : 1) la reformulation mathématique de la théorie économique ; 2) la définition des méthodes d'investigation et de mesure, c'est-à-dire la définition des protocoles de mesure et des moyens statistiques pour identifier les variables et les relations, tels la régression, la corrélation ou le traitement des échantillons²⁸, et s'intéresser enfin à 3) la réalisation de ces mesures, ce qui, dans la terminologie économétrique, est aujourd'hui connu sous l'expression de « paramétrage ».

La démarche de modélisation de Frisch repose sur l'affirmation du primat de la théorie telle qu'elle est en particulier posée dans l'article de Frisch et Waugh (1933). Certes, l'objet de l'article est de définir la régression partielle comme l'a explicité Morgan (1990), mais c'est justement son caractère purement statistique qui confère à cet article son intérêt. Frisch et Waugh plongent au cœur du travail d'articulation entre la théorie et les données. Ils vont permettre de trancher la question de l'identification et de considérer ainsi les outils statistiques comme instruments de mesure et non pas seulement des outils heuristiques qu'on leur faisait jouer depuis que l'économie statistique regardait du côté de la biométrie²⁹. Plus encore que leur analyse des outils statistiques tels que la régression et la corrélation, ce qui

²⁷ Ce débat entre Frisch et Mitchell trouvera un écho très fort dans le débat 'Measurement without theory' en 1947-49 entre Tjalling Koopmans et Rutledge Vining.

²⁸ Comme le montre Bjerkholt (2001), Frisch était opposé à la méthode d'échantillonnage développée par Ronald Fisher car il la jugeait trop probabiliste. C'est Haavelmo, suite aux enseignements de Koopmans, qui en dégagera les avantages et la pertinence pour l'analyse de la confluence.

²⁹ L'économie, au tournant du XIXème et du XXème siècles, a emprunté à la biométrie les instruments comme la corrélation et la régression pour tirer des données statistiques des relations statistiques voire des lois empiriques. Des généralisations empiriques, les économistes et les actuaires espéraient aboutir à la formulation de relations théoriques, notamment pour étudier et définir les mouvements de l'activité économique. Ce sujet a été traité tour à tour par Porter (1986), Morgan (1990), Armatta (1995), et encore Klein (1997).

retient le plus notre attention est leur insistance à distinguer l'étape de l'estimation de celle de la définition du modèle, les instruments statistiques permettant de l'estimer mais en aucun cas de l'élaborer.³⁰

La « bonne » approximation est avant tout celle qui permet de trouver cette relation théorique postulée, l'identification s'avère être une opération d'estimation :

« Quand on compare les résultats des différentes méthodes employées dans l'analyse des séries temporelles, on doit avoir clairement à l'esprit *l'objet* de l'analyse. Il doit être spécifié quelle sorte d'influence on désire éliminer, et quelle sorte d'influence on cherche à préserver. Sans préciser ces points, cela n'a aucun sens de dire que telle méthode aboutira à une relation " plus vraie " qu'une autre » (Frisch et Waugh, 1933, 389).

L'objet — la relation « vraie » — doit lui-même être défini en référence à la théorie économique :

« Une telle expression [une relation " vraie "] a une signification seulement si l'on se réfère à une structure théorique donnée. Une relation déterminée empiriquement est " vraie " si elle est une estimation plutôt bonne d'une certaine relation théorique bien définie, supposée représenter la nature du phénomène étudié. Il ne semble pas y avoir d'autres moyens de donner une signification à l'expression " une relation vraie ". Toutefois, pour la clarté de notre propos, nous devons d'abord définir la nature de la relation *a priori* qui est prise pour idéal » (Frisch et Waugh, 1933, 389).

Le travail d'estimation repose donc sur la définition de la méthode statistique qui permet de distinguer plus précisément les variables structurelles de long terme des variables d'ajustement conjoncturel. L'économètre obtient alors une « relation structurelle postulée par la théorie économique »³¹ (Frisch et Waugh, 1933, 390).

³⁰ Morgan (1990, 150-151 particulièrement) présente de façon détaillée l'inscription de l'article de Frisch et Waugh (1933) dans les débats sur l'identification notamment sur les deux enjeux relatifs à la définition et l'emploi de 1) la corrélation pour trouver les différentes tendances à la hausse et à la baisse au sein des séries temporelles et obtenir une relation linéaire reliant les différentes variables temporelles, et 2) d'une variable 'temps' dans l'analyse de la régression partielle.

³¹ D'après Morgan (1990, 150), la terminologie de Frisch fut adoptée, *via* Haavelmo, par la *Cowles Commission*. Le premier emploi du terme « structure » serait assez proche du sens moderne.

A la suite à l'article de Frisch et Waugh, l'intégration systématique de variables spécifiques qui impliquent des changements dans le temps dans la courbe de demande, se généralise (*cf.* Morgan, 1990, 150).

b. Pas de modèle fiction

Le modèle ne peut pas être une pure construction théorique. Il doit articuler, de la formulation des hypothèses à l'énoncé des relations causales et des conclusions, analyse théorique et investigation statistique. Cette articulation, qui commence, comme le révèle le débat entre Frisch et Leontief, par le test des hypothèses, confère au modèle économétrique un caractère moderne. En effet, une articulation s'appuie sur une combinaison particulière entre les faits et la théorie. Cette combinaison se traduit par une méthodologie pour « intriquer » des mathématiques, un cadre théorique fourni par la théorie économique et la réalité telle qu'elle se reflète dans les données statistiques et telle qu'elle peut être saisie par les concepts et modèles statistiques. Ce qu'il faut souligner que cette double articulation dépasse la simple intrication de « fragments de science » et qu'elle s'inscrit dans un processus de « purification » au sens latourien par la recherche de vérité et d'objectivité de la représentation du pôle économique.

L'insistance de Frisch sur le test des hypothèses permet de rejeter l'une des interprétations d'Andvig (1984, 1985), à savoir son adhésion à l'idée selon laquelle « les modèles ne chercheraient pas à être vrais, ils sont plus ou moins des fictions » (Andvig, 1984, 9). Il me semble plutôt que Frisch cherche à établir la correspondance des modèles avec la réalité, même si cette représentation donne au bout du compte une vision parcellisée du monde. Cette thèse est appuyée par la définition par Morgan et Morrison (1999, 25-28) du caractère hybride (pas au sens latourien ici mais en référence à leur aspect hétérogène) et autonome des modèles, en particulier lorsqu'elles soutiennent que le modèle y représente un peu de réalité et un peu de théorie et qu'il n'est ainsi pas le simple reflet ou le miroir de la réalité. Il est une construction (*ibid.*, 30), que Frisch veut la plus proche possible du réel. D'une part, la nécessité de tester les hypothèses pour ne pouvoir retenir que des relations théoriques vérifiées et non plus simplement postulées conduit Frisch à s'appuyer sur une conception « réaliste » de la modélisation. D'autre part, sa définition de la confluence et de la détermination des structures et des aléas du modèle repose sur l'idée que le modèle est une

représentation du réel qui comporte des propositions susceptibles d'être vraies ou fausses. La définition du « modèle comme fiction » donnée par Barberousse et Ludwig (2000) n'est donc pas pertinente pour qualifier la modélisation frischienne.

Le modèle dans l'épistémologie frischienne vise à représenter les conditions dans lesquelles il est produit. Il n'y a donc pas de modèle fiction mais un modèle conçu comme un « instrument d'intermédiation » (Morgan et Morrison, 1999) entre le réel et la théorie. Si le modèle économétrique doit renseigner sur le réel mais aussi sur la théorie, Frisch conçoit un modèle qui doit « répliquer »³² le réel pour mieux l'expliquer.

Morgan (1990, 183) s'attache à présenter l'article de 1933 « *Pitfalls in the Statistical Construction of the Demand and Supply Curves* »³³ comme une réflexion sur les questions d'identification statistique des courbes de demande et d'offre, perspective dans laquelle. Il représente, selon moi, le moment où Frisch affirme la nécessité de travailler avec des hypothèses qui ont été testées et acceptées comme vraies (validées ?), et cette nécessité inscrit le modèle dans une approche réaliste et non fictionnelle. Tester les hypothèses du modèle participe de l'opération qui consiste à produire une théorie complète de la mécanique socio-économique.

Le point de départ du problème est l'estimation des courbes de demande et d'offre. Ainsi on retrouve ici la problématique de l'article de Frisch et Waugh paru la même année. Cette question préoccupe les économètres depuis les travaux de Lenoir (1913), de Lehfeldt (1914) et de Moore (1922)³⁴. La principale difficulté consiste à tenir compte des influences réciproques de l'offre et de la demande. Une des premières réponses satisfaisantes, d'après Chipman (1998, 79), fut apportée par Working en 1927. Schultz (1925, 1928) avait proposé une solution, mais celle-ci n'était pas satisfaisante dans le cas d'une économie fermée. Cette méthode fut critiquée par P.G. Wright. Ce dernier s'attaque en 1929 à « la méthode de Schultz-Moore qui utilise des modèles à une ou à deux équations et des données pré-ajustées » (Morgan, 1990, 174). Wright proposa ses propres solutions pour traiter des questions d'identification, mais elles n'eurent à l'époque qu'une faible répercussion sur la communauté des économètres. C'est la solution de Leontief (1929) qui retint davantage l'attention de ses contemporains. Chipman la résume ainsi :

³² Nous empruntons à Morgan et Morrison (1999, 30) la terminologie qu'elles emploient pour décrire les premiers modèles des cycles des affaires de Frisch, dont la construction reposait sur l'ambition de voir « dans quelle mesure ils [les modèles] pouvaient répliquer les cycles empiriques génériques de l'économie ».

³³ Le débat commence en 1933 avec « *Pitfalls in the statistical construction of Demand and Supply Curves* » (Frisch, 1933), mais se poursuit dans le *Quarterly Journal of Economics* en 1934.

³⁴ Pour resituer avec plus de précision l'enjeu de la question de l'estimation des courbes de demande dans l'histoire de l'économétrie, le lecteur peut se rapporter à Morgan (1990, chapitre 6, 164-189), et à Hendry et Morgan (1995, 38 et suivantes).

« Il [Leontief] supposait que les relations de demande et d'offre étaient des logarithmes linéaires, avec des pentes (élasticités) constantes dans le temps, et qu'elles étaient soumises à des changements aléatoires qui étaient indépendants les uns des autres. Sa méthode (1929, 29) consistait à diviser les séries temporelles en deux sous-périodes et à appliquer une régression sur chacune de ces deux périodes, et de résoudre les équations restantes conjointement afin d'obtenir deux élasticités estimées, l'une devant être interprétée comme devant être l'estimation de la courbe de demande et l'autre celle de la courbe d'offre » (Chipman, 1998, 79).

Cette méthode proposée par Leontief a été à son tour critiquée par Schultz en 1930³⁵, et plus durement par Frisch en 1933 dans « Pitfalls in the Statistical Construction of Demand and Supply Curves » (1933). Plus précisément, le débat se centra sur l'hypothèse d'indépendance des mouvements des courbes de demande et d'offre émise par Leontief en s'appuyant sur la théorie économique d'influence marshallienne, comme le soulignent Hendry et Morgan (1995, 38). Frisch reproche à Leontief de ne pas avoir cherché la corroboration de ces hypothèses théoriques dans les données statistiques :

« Frisch répond que ces hypothèses théoriques sont uniquement justifiées si elles peuvent être raisonnablement faites pour l'ensemble particulier des données utilisées : les hypothèses théoriques et les caractéristiques des données doivent correspondre si on veut que les inférences mathématiques obtenues par Leontief se reflètent dans des inférences fondées statistiquement qui soient pertinentes et non absurdes (...). Frisch utilise un modèle statistique et des hypothèses qui correspondent à ce modèle. Leontief utilise un modèle mathématique et les hypothèses qui lui sont associées, mais elles ne sont jamais attaquées. C'est pourquoi il n'y a pas dans ce cas de modèle économétrique, en tout pas au sens où la théorie économique a été adaptée aux statistiques ou vice versa » (Hendry et Morgan, 1995, 39).

³⁵ La critique de Schultz est développée en 1930 dans l'appendice II, puis reprise et développée dans l'ouvrage de 1938 sur les théories de la demande.

On peut rejoindre le point de vue d'Hendry et Morgan sur le fait que l'un des enjeux du débat sur les modèles est la distinction entre le modèle économétrique et le modèle mathématique. Derrière les questions techniques complexes de l'estimation statistique il y a, chez Frisch, une interrogation sur la nature du lien entre le travail théorique et le travail empirique. Le test des hypothèses participe de la construction du modèle économétrique, car ce test permet de préciser les lois économiques avancées par l'économie mathématique :

« Dans ce domaine nous avons besoin, je crois, d'un nouveau type d'analyse significative, laquelle ne peut pas être fondée sur l'application mécanique des écarts-types traités selon des formules plus ou moins plausibles fournies par la statistique mathématique, mais il nous faut une analyse fondée sur une étude comparative approfondie des différents types possibles d'hypothèses pour le modèle théorique et une étude des conséquences que ces différentes hypothèses impliquent pour l'interprétation des données » (Frisch, 1933, 32).

Frisch réitère sa volonté de travailler avec un modèle mathématique testé qui permette de reformuler la théorie économique dans une réponse péremptoire à Leontief en 1934 :

« N'importe qui faisant une hypothèse —telle que, par exemple, celle des mouvements indépendants— a bien sûr le *devoir* d'essayer de s'assurer qu'il n'y a rien dans les données qui contredise cette hypothèse » (Frisch, 1934c, 750) (emphase placée par Frisch).

Bjerkholt (2001, 3-4) montre comment il peut être clairement établi que l'investigation empirique est placée sous le signe de la vérification pour Frisch, voire pour Haavelmo (1944) dans son approche de la modélisation avant la seconde guerre mondiale. Hendry et Morgan (1995, 52) montrent précisément que le terme de « tester » signifiait clairement pour les premiers économètres « vérifier ». La vérification passe par la manipulation du modèle qui sert de lieu et de moment d'expérimentation. Il me semble, pour reprendre Boumans (2003)³⁶

³⁶ Dans ce texte « How to design Galilean fall experiments in economics ? », Boumans s'intéresse plus particulièrement à la définition donnée par Haavelmo de la confluence et montre en quoi le modèle est dans ce cadre un lieu d'expérimentation. Cette analyse développée par Boumans pour définir le rôle de l'expérience en économie nous semble partiellement —partiellement parce que Frisch s'inscrit dans une perspective

que le modèle peut être conçu comme le lieu de l'expérimentation, et le protocole d'expérience, c'est l'analyse de la confluence.³⁷ Je considère que Frisch essaie ainsi de prêter au modèle économétrique la capacité d'objectivité les phénomènes économiques et de les rattacher ainsi au pôle de la nature et des choses, et en les éloignant de l'économie politique pour les amener dans le giron de la science économique. Pourtant, les « lois » économiques mobilisées sont souvent empruntées à cette économie politique du citoyen souverain, lois immanentes et dépendantes de ce que les hommes ont la liberté d'en faire.

c. Une nouvelle méthodologie d'expérimentation

Resituons dans son contexte le développement de l'analyse de la confluence pour en comprendre toute la nouveauté et l'apport à l'économétrie. La toute jeune communauté des économètres est en effet très ébranlée par les critiques adressées par John Maynard Keynes au modèle défini dans le rapport de Tinbergen pour la Société des Nations en 1938. C'est pourquoi les avancées proposées par Frisch en matière d'identification et d'estimation, et développées par Haavelmo (1939, 1940, 1944), eurent un écho si grand et constituèrent pour partie le cœur du programme de la *Cowles Commission* après guerre, en fondant l'économétrie structurelle³⁸ (Epstein, 1987 ; Morgan, 1990 ; Christ, 1952, 1983 ; Hendry et

vérificationniste et que le modèle n'est pas la théorie pour Frisch mais comporte des éléments de théorie— applicable à l'approche de Frisch dont Haavelmo s'était grandement inspiré.

³⁷ La définition de l'analyse de la confluence s'articule autour de trois articles : le premier intitulé, « Correlation and Scatter in Statistical Variables » (1929) pose les fondements de l'analyse, en distinguant clairement les variations structurelles des variations accidentelles. L'analyse est affinée, en 1934, dans « Statistical Confluence Analysis by Means of Complete Regressions Systems » (1934b) où la notion de structure est fortement réaffirmée pour aborder les problèmes d'identification. Et enfin, la présentation la plus connue reste le troisième article « Statistical versus theoretical relations in economic macrodynamics » (1938), dont la publication est rédigée en réponse aux propositions de Tinbergen dans le rapport pour la Société des Nations. Frisch reprend pour la développer la méthode graphique d'estimation des *bunch maps* qu'il avait commencé à définir dans son ouvrage de 1934. L'analyse de la confluence est un problème d'identification : Frisch et Haavelmo proposent de distinguer les relations structurelles ou autonomes des relations confluentes. Les premières sont la traduction en équations mathématiques de la théorie économique, et les secondes (connues aujourd'hui sous les termes de formes finales, réduites ou partiellement réduites) sont des équations déduites du modèle structurel, qui expriment chacune des variables endogènes (« expliquées ») en fonction des seules variables exogènes (« explicatives »). Ainsi, lorsque les variables exogènes sont données, l'investigation statistique permet uniquement de connaître la distribution des variables endogènes. L'estimation des paramètres structurels d'un modèle devient donc possible à partir de sa forme réduite suivant une procédure qui fonde les prémisses d'une approche probabiliste.

³⁸ L'économétrie structurelle peut qualifier l'approche développée par la *Cowles Commission* de l'après deuxième guerre mondiale au début des années 1970. Nous avons développé cet aspect à plusieurs reprises dans notre thèse, et reprenons les mots d'Hendry et Morgan pour rappeler le contenu du programme de recherche de l'économétrie structurelle : « La manière de voir le monde économique qui devait dominer les considérations et la pratique économétrique à partir de 1940 jusqu'aux années 1970, et qui a continué à occuper une position forte bien après, était associée à la notion de structure. On considérait alors que l'économie consistait en un ensemble de relations indépendantes, lesquelles étaient liées au monde économique et que les nombreux agents constituaient un réseau d'interactions (...). Ceci suggère une économie constante et inchangée, qui contraste fortement avec une vision d'un monde économique dynamique toujours en mouvement (...). En fait, ce n'est pas

Morgan, 1995, 60-61 ; Le Gall, 1994 et 2002a ; Armatte 1995). Les propositions de Frisch représentent avant tout une manière d'utiliser la modélisation comme une procédure d'expérimentation qui permettra d'intriquer l'analyse théorique et l'investigation empirique. C'est par des allers et retours entre la structure mathématique du modèle et une série de tests que Frisch pense déboucher sur la formulation d'une explicitation des « lois quantitatives » de l'économie. A cette fin, Frisch développe une nouvelle méthodologie d'expérimentation qui guide la construction du modèle économétrique.

Déjà définie en 1926 par Frisch, cette méthodologie est développée et présentée par Haavelmo lors de la sixième conférence Européenne de la Société d'Econométrie à Oxford du 25 au 29 septembre 1936, et connaît un développement très rapide. Ce programme de recherche —présenté formellement comme un guide idéal pour la recherche en macrodynamique— fut, selon Bjerkholt (Bjerkholt, 2001, 12), initialement rédigé par Frisch pour être repris par Haavelmo, dans la communication qu'il donna à cette conférence. Ainsi, cette méthodologie se décompose en deux étapes :

« A. Une investigation empirique : (1) Définir nos variables. (2) Etablir les relations structurelles que vous supposez exister entre ces variables. (3) En déduire un nombre de relations confluentes, ce qui conduira à trouver des élasticités confluentes, montrant ainsi comment réagit une variable d'un certain sous-groupe de variables quand les variables des autres sous-groupes sont gardées constantes. (3a) S'appuyer sur ces relations pour déterminer les variations qui sont compatibles avec le sous-système. (3b) Etudier la manière dont le système réagit aux chocs exogènes : une analyse dynamique conduisant à un critère de stabilité. (3c) Regarder comment le système dans sa globalité évoluera dans le temps.

« B. Une investigation statistique : (4) Obtenir certaines équations finales. Une équation finale est une relation confluyente qui a été réduite à son plus petit degré de liberté et dont les coefficients ont statistiquement une signification unique, sans jamais essayer de trouver dans les données³⁹ autre chose qu'une équation finale. (5) Passer au crible les données et dériver des formules empiriques au moyen de la technique statistique connue

avant la rupture de la stabilité économique d'après-guerre que l'économétrie structurelle développée dans les années 1940 fut remise en cause » (Hendry et Morgan, 1995, 60).

³⁹ Les données sont à comprendre ici comme des observations statistiques.

maintenant sous l'expression " analyse de la confluence ". (6) Si l'équation finale contient une seule variable, et si elle est linéaire, construire alors l'équation caractéristique correspondante et trouver ses racines. Sa forme réelle sera donnée par une moyenne pondérée par des chocs (en fait il s'agit de chocs erratiques), la pondération étant établie seulement si le système est laissé à lui-même et dégagé de toute influence extérieure. (7) Examiner les problèmes fondamentaux de l'inversion : à savoir (a) déterminer le système de pondération à partir d'une évolution temporelle donnée, et (b) déterminer les chocs. (8) Essayer enfin d'établir une prédiction à partir de la pondération obtenue par l'inversion, en supposant que —en l'absence d'une meilleure information— les chocs futurs soient nuls [inexistants] » (Frisch, *Econometrica*, 1937, 365-366).

Sur l'instigation d'Haavelmo et de Koopmans, la mise en garde de Frisch sur à la nécessité de se doter d'une telle méthodologie d'observation sera entendue par les économètres à partir de la thèse d'Haavelmo (1944), dix ans après avoir été formulée en ces termes :

« Si le statisticien ne dispose pas d'une technique d'investigation statistique adéquate pour l'investigation statistique de la hiérarchie des relations confluentes, il risque alors d'ajouter de plus en plus de variables et d'obtenir un ensemble de relations colinéaires et sa tentative d'obtenir la droite de régression sera absurde » (Frisch, 1934a, 6)

Cette analyse de la confluence qui sous-tend la démarche de modélisation frischienne s'appuie sur une terminologie fondée sur l'idée suivante : les données se composent des coefficients constants et déterminés, et de variations observées. Ces coefficients constants peuvent être compris comme la capacité de l'économètre de représenter, par son travail scientifique, la permanence de la « nature économique » et son universalité. Le modèle permet aussi de rendre compte de l'immanence des phénomènes économiques, phénomènes qui sont à relier aux activités humaines et de ce fait, il convient de prendre en compte leur caractère temporel et daté par la forme réduite du modèle. Toutefois, cette dernière, doit permettre d'objectiver ce caractère temporel et transférer l'économique du pôle de la culture et de la société vers le pôle de la nature. Alors, la modélisation peut s'apparenter à un travail

de « purification » par la volonté de transformer des sujets en objets. Toutefois, on peut s'interroger sur le succès de cette transformation et sur le fait que le modèle combine des humains et des non-humains, sans parvenir à une objectivation complète. A se demander si les débats sur le caractère probabiliste ou déterministe des modèles économétriques ne seraient pas à rattacher justement à la qualité intrinsèquement hybride des modèles et à l'échec du travail de purification.

1B/ Vers des « hybrides » au niveau politique ? La fin de la dichotomie entre pouvoir scientifique et pouvoir politique

Cette section explore l'hybridation au niveau politique, et tente de décoder les raisons, les modalités et les enjeux de la fin de la dichotomie entre le pouvoir politique, représentatif du pôle de la société, et le pouvoir naturel, représentatif du pôle de la nature. Je montrerai que cette seconde hybridation est la résultante de la tentative de « séparation » et de « traduction » (et relativement de son échec) décrite dans la première section. En effet, l'objectivation des phénomènes touchant à l'économie et au transport, permet au scientifique de penser qu'il est assez en distance avec son objet pour devenir un sujet agissant sur le monde qu'il construit en l'étudiant. Ce faisant, il introduit un nouveau rapport entre pouvoir scientifique et pouvoir politique (Armatte, 1995 ; Lie, 1995 ; Morgan, 2003 ; Medema, 2005). Frisch a bien conscience de ce renouvellement du lien et on comprend dès lors son attachement à définir un ensemble de modèles de politique économique et une méthodologie codifiant et bornant le rapport entre le politique et le scientifique.

Le développement de la crise économique mondiale de 1929 ainsi que l'analyse des cycles des affaires concourent à forger la conviction de Frisch et de nombreux de ses contemporains — de Keynes à Myrdal en passant par Tinbergen— que les économies de marché souffrent de façon récurrente des conséquences des mouvements cycliques de l'activité économique :

« Le terreau commun aux fondateurs américains et européens de l'économétrie était la définition de leur tâche comme une tentative pour empêcher le chômage et autres conséquences sociales des cycles des affaires » (Louça, 1999, 2).

L'analyse économique doit donc se renouveler au nom de la préservation du lien entre la démocratie et l'organisation marchande de l'économie :

« La démocratie, pour survivre à sa crise actuelle et survivre en tant que démocratie, a besoin de s'appuyer sur un genre assez nouveau d'analyse économique » (Frisch, 1950, 474-475).

L'article « Circulation Planning » (1934b) indique explicitement que l'économétrie, et plus précisément la modélisation structurelle, est le support nécessaire à la compréhension des lois économiques et à leur utilisation à des fins de stabilisation de l'économie. De fait, le « genre assez nouveau d'analyse » consiste essentiellement en la définition d'instruments que sont le modèle économétrique structurel ainsi que la comptabilité nationale. Il ne s'agit pas de renouveler le cadre théorique ou de questionner les hypothèses fondatrices de l'analyse néo-classique comme le firent Keynes ou Hayek pour aboutir à des conclusions différentes, quant à la possibilité et à la nécessité de mettre en place des politiques économiques interventionnistes. Frisch s'inscrit d'emblée dans une perspective interventionniste en posant le double postulat que la connaissance économique doit être mise au service de l'amélioration des conditions de vie de ses concitoyens et que la lutte contre les conséquences socio-économiques des crises permet de contrer la montée des totalitarismes. Dans ce cadre, il apparaît que Frisch s'oriente vers la recherche de nouveaux formalismes qui offrent une technique qui autorise l'analyse et la prédiction des cycles économiques.

1B1. Comprendre les mécanismes économiques pour les « réparer » : la responsabilité « sociale » de l'économètre

Frisch oriente sa compréhension des crises économiques sur l'idée qu'il existe des écarts du système économique par rapport à une position d'équilibre de référence. L'équilibre est ainsi placé comme la notion de référence permettant d'analyser la nature des cycles économiques. L'analyse de la persistance des cycles par Frisch est à comprendre comme la recherche des causes expliquant que le système économique peut s'écarter de sa position « naturelle » d'équilibre. Cette recherche le conduit à décrire les frottements et les forces qui empêchent le retour du système à l'équilibre en faisant référence à la physique. Les dysfonctionnements de l'organisation de la production et de l'échange marchand provoqueraient alors une insuffisance de la demande effective qui engendrerait en retour une chute du niveau de la

production (Dupont-Kieffer, 2012a, 2012c). Ainsi, dès 1931, dans un quotidien populaire norvégien —*Tidens Tegn* [la marque de notre temps]— Frisch avance ce type d'explication :

« On doit comprendre que la crise en cours n'est pas une crise de réelle pauvreté, mais une crise organisationnelle. Le monde est tel un bateau chargé de biens de la vie, mais sur lequel l'équipage meurt de faim, et ne peut déterminer comment les biens peuvent être distribués.

Puisque la crise n'est pas une crise de réelle pauvreté, mais une crise organisationnelle, les remèdes devraient être trouvés dans un travail effectif d'organisation au sein de l'appareil de production et de distribution.

Le grand défaut du système privé capitaliste de production actuel est un manque de planification » (Frisch, 1931, 2).

Tout l'enjeu du programme de recherche de Frisch à partir de 1929 va être de décrire, à partir de l'économétrie, les dysfonctionnements de la mécanique économique et sociale. Comme je l'ai montré ci-dessus, la modélisation par l'analyse de la confluence va permettre de mettre en avant à la fois la permanence d'une 'nature' économique objectivée et universelle et l'immanence des sociétés humaines. Son attachement à décrire la nature des à-coups pouvant gripper, faire dévier voire bloquer les mécanismes économiques est d'autant plus compréhensible. Revenons dessus car ces tentatives de définition sont illustratives d'un travail de purification qui permet de distinguer le discours du pouvoir scientifique du pouvoir politique. En effet, l'identification des freins autorise le développement d'une expertise tenue et formulée par les scientifiques et les experts, se rattachant au pôle « nature ». Cette expertise permettra ensuite aux responsables politiques, se rattachant au pôle « société » et représentant les citoyens, de choisir et sélectionner, sur avis des experts, les mesures à même de résoudre les crises, comme je vais le montrer ci-après. Ce faisant, Frisch propose un schéma très « moderne » puisqu'il garantit la séparation du pôle de la nature et du pôle de la société et montre qu'il a intégré la partition du travail entre le scientifique et l'homme politique.

a. Quelles perturbations affectent les mécanismes économiques

L'analyse de cycles des affaires conjointement développée avec l'analyse de la confluence, méthodologie d'expérimentation par excellence, pousse Frisch à conclure que le fruit de ses analyses peuvent et doivent servir à la mise en œuvre de politique économique contre-cyclique.

Il faut attendre 1954 pour que Frisch (Frisch, 1954) affine la terminologie qu'il avait définie en 1929 sur le type de déviations et de chocs pouvant affecter les mécanismes économiques. Le premier type de variations fait état des *variations accidentelles* « dues au fait qu'un nombre de variables est pris en compte, consciemment ou inconsciemment, et que chacune de ces variables a toutefois une importance mineure » (Frisch, 1929, 93). Le second type de variations regroupe les *perturbations* (ou *disturbances*), « dues au fait qu'une seule, ou un nombre limité de variables hautement significatives est pris en compte » (Frisch, 1929, 93). Le troisième type de variations correspond aux *variations systématiques* qui « montrent une certaine régularité (dans le temps et dans l'espace), cette régularité étant prise comme le critère selon lequel aucune variable pertinente n'a été prise en compte » (Frisch, 1929, 93-94)⁴⁰. C'est pourquoi, il ne faut pas, selon lui, confondre l'analyse théorique des régularités de la mécanique sociale et l'investigation statistique de ces dernières :

« Il existe très certainement une différence entre le schéma conceptuel d'une loi mécanique et celui d'une loi statistique, mais pas au sens où le premier aurait un caractère unique et le second un aspect pluraliste. Telle que je la vois, la différence est que le premier est une loi conçue telle qu'elle n'admette aucune exception, et le second est une loi qui effectivement admet les exceptions, du fait que les variations accidentelles paraissent surimposées aux variations systématiques » (Frisch, 1929, 95).

Rappelons que la méthodologie de Frisch se concentre sur l'étude des perturbations :

⁴⁰ L'idée de Frisch est d'éliminer les variables accidentelles pour ne retenir que les variables systématiques seules pertinentes pour l'analyse économique : « Quand nous procédons à la détermination d'une relation analytique entre un certain nombre de variables statistiques, nous supposons, implicitement ou explicitement, que si l'ensemble considéré de variables forme effectivement un ensemble complet de variables pertinentes, et si les variations accidentelles peuvent être éliminées, et que par conséquent ne restent que les variations systématiques, alors ces variables satisferont une certaine relation fonctionnelle (...). Le caractère de cette relation fonctionnelle est une caractéristique importante de tout problème statistique, et pour de nombreux problèmes, cette relation est le point important qui nous intéresse » (Frisch, 1929, p. 94).

« *une perturbation* est un écart par rapport à la situation qui était attendue eu égard à la structure. En d'autres termes, c'est quelque chose *d'incompatible* avec la structure ; c'est quelque chose de nouveau et de spontané qui se rajoute à la structure » (Frisch, 1938, 273) (emphase placée par Frisch).

Frisch précise alors son analyse. Il existe à ses yeux deux types de perturbation, à l'origine de deux types d'analyse : les stimuli et les aberrations. C'est à ce niveau de distinction que la notion de structure s'affine :

« [Un] *Stimulus* : est une perturbation dont les effets sont perceptibles à toutes les étapes suivantes de l'évolution du système —à travers les relations structurelles. En d'autres termes, il est possible de trouver, pour tout point du temps, une magnitude [valeur] pour toutes les variables *incluant* des stimuli qui sont considérés comme pouvant influencer l'évolution future [du système économique et par conséquent de la structure qui représente le système économique] ; les stimuli agissent comme s'ils modifiaient de manière permanente les conditions initiales.

[Une] *Aberration* : est également un écart par rapport à la valeur que la variable aurait du prendre étant donnée la structure [du modèle représentant le système économique], mais cet écart ne joue qu'au moment précis où il se produit ; c'est une sorte d'addition instantanée —inexpliquée par la structure— et sans conséquence sur les états ultérieurs [du système économique tel qu'il est représenté par la structure]. En d'autres termes, il est possible de trouver les magnitudes [valeurs] des variables telles que soient exclues les aberrations et telles qu'elles puissent représenter les conditions initiales pour décrire les états futurs » (Frisch, 1938, 273-4) (emphase placée par Frisch).

Le traitement des aberrations passe par le recours des techniques statistiques car elles sont des écarts par rapport à la tendance alors que la compréhension des *stimuli* relève de la théorie économique car ils sont des écarts par rapport à l'équilibre du système économique. Les aberrations sont étudiées dans le cadre de l'analyse de la confluence, alors que les stimuli renvoient à la théorie des chocs. Puisqu'un stimulus modifie les conditions initiales de manière permanente (il modifie la structure théorique de référence), il renvoie à l'étude de

l'évolution d'un système économique soumis à des chocs. En revanche, l'aberration, représentant un écart momentané par rapport à ce que l'on devrait observer, renvoie à une question d'identification. Ce détour lexicologique me permet de saisir l'importance de la notion de structure autour de laquelle pivote l'articulation entre les faits et la théorie. Ceci devient encore plus nécessaire lorsque le lecteur de Frisch cherche à comprendre ce qu'il entend par « la définition précise de la structure est une question de théorisation bien que les idées constructrices des définitions théoriques soient suggérées par les faits » (Frisch, 1938, 273). La structure est l'instrument qui permet d'aller à l'épreuve des faits. Mais pour cela il est nécessaire qu'ait été identifié ce qui relève de la perturbation de ce qui relève de la variation accidentelle au sein de l'ensemble des observations. Frisch explique que par l'étude des coefficients de corrélation multiple, l'économètre peut distinguer les unes des autres. En effet, ces coefficients de corrélation multiple révèlent la présence de perturbations et permettent d'éliminer les variations accidentelles. Ils servent à établir un diagnostic mais en aucun cas, selon Frisch, à décrire le phénomène étudié.

A partir de cette précision lexicologique, qui permet une distinction entre différents types de chocs perturbant le système économique, on comprend comment Frisch met en place une recherche des relations les plus autonomes, recherche qui constitue le cœur de l'analyse de la confluence et, par suite, qui détermine la construction du modèle. Ce dernier regroupe des relations structurelles autonomes et des relations confluentes. Les premières permettent de comprendre la structure de l'économie alors que les secondes peuvent expliquer la conjoncture économique. Ces précisions participent d'un travail de séparation entre 'nature' et 'société', mais il révèle également le caractère hybride du modèle et de la démarche de connaissance frischienne. En effet, le modèle fait cohabiter, et combine, des expressions mathématiques ou variables se rapportant à la transcendance universelle du mécanisme économique et des expressions mathématiques se rapportant à l'immanence des sociétés humaines.

C'est sur cette base que Frisch peut développer une théorie des crises en termes de dysfonctionnements de la mécanique économique, et proposer ainsi des leviers d'action. Cette explication des crises en termes organisationnels sert de justification au caractère nécessaire de l'intervention de l'Etat dans la sphère économique : la persistance des déséquilibres et l'existence d'anticipations dépressives nécessitent d'aider le système économique à retrouver sa position d'équilibre en levant les entraves à la production et aux échanges. La solution passe alors par une réflexion sur les questions d'organisation de

l'échange. Le modèle de 1934, qui constitue le cœur de l'article « Circulation Planning », est ainsi présenté par Frisch comme une réponse à des « phénomènes d'enfermement », qui sont autant de freins qui bloquent le fonctionnement mécanique du système économique. Mais force est de constater qu'il laisse alors de côté les réformes monétaires, l'inégale distribution des revenus entre les secteurs de l'activité économique et la possibilité que le marché aboutisse à des prix relatifs erronés. Il se concentre sur les défauts de coordination marchande dans une économie en crise.

L'intérêt de la solution proposée par Frisch est double. Elle révèle, d'une part, qu'il s'agit de mettre en place des politiques économiques de stabilisation de la conjoncture économique ; en cela Frisch appartient à cette tradition ouverte par Keynes qui définit la politique économique comme une politique de régulation de l'activité économique. D'autre part, cet article conduit Frisch à réaliser qu'il existe une tension entre la logique de l'analyse économique centrée sur l'équilibre et articulée sur le tâtonnement walrasien, et celle de la politique économique qui vise à contenir les déséquilibres économiques et à parer les effets des crises. Le but est de créer un centre d'échange ou plus exactement une chambre de compensation multilatérale, qui doit permettre de mieux faire circuler l'information entre les agents.

Cette agence doit être à même de calculer les taux d'échange optimaux et de distribuer les bons d'échange leur correspondant grâce à un modèle économétrique qui peut représenter et donner la structure des échanges optimale. Comme Frisch le reconnaît vingt trois ans plus tard, le modèle se doit d'être explicatif, mais également et surtout opérationnel :

« Il n'est pas suffisant de disposer d'une théorie élégante et facilement compréhensible comprenant quelques concepts et agrégats, tels la production totale, la consommation, l'investissement, la balance des paiements et autres concepts macroéconomiques, ou de disposer d'une théorie purement formelle s'appuyant sur de nombreux symboles, sources d'écritures, sous-écritures, super écritures et d'équations de toutes sortes (...). Elles [ces théories] doivent conduire à l'essence de l'analyse de la planification : une étude précise des possibilités réelles de donner des conseils spécifiques sur le traitement des problèmes économiques, tel que ces derniers apparaissent dans les discussions courantes de l'administration et du public » (Frisch, 1957, 2).

Le modèle proposé dans « Circulation Planning » (1934b) pose donc de manière indirecte le problème du statut du travail de l'économiste. Confronté à cet impératif opérationnel, Frisch est ainsi conduit à définir une méthodologie —celle des « entretiens »— et des outils spécifiques répondant aux critères de la politique économique —des modèles multi-sectoriels aux budgets nationaux en passant par les systèmes de comptes nationaux. L'économètre est placé dans cette intrication entre le travail du théoricien et celui du caméraliste à l'intersection de plusieurs champs scientifiques et politiques. En effet, l'économètre se livre à l'observation et à l'analyse des phénomènes socio-économiques. Mais par ses recherches, il est conduit à tenir un rôle de conseil pour l'élaboration de la politique économique, et ce faisant il influence l'objet même de son travail. L'explicitation de sa philosophie devient primordiale pour la crédibilité de sa production scientifique et sur ses propositions pour articuler discours scientifique et discours politique, pouvoir scientifique et pouvoir politique. On comprend dès lors mieux sa définition de la démarche de connaissance comme la recherche de régularités -et des irrégularités conjointes- qui structurent le monde économique et la possibilité qui en découle de mettre en place des politiques économiques qui pourront s'appuyer sur leur connaissance.

Il faut donc revenir sur son approche de la découverte scientifique par le modèle, sur ses réflexions sur la nature de la connaissance et, de manière connexe, sur la nature du travail du scientifique et de la production du savoir.

b. Une vision chaotique du monde social qui explique la tentative frischienne de naturalisation des phénomènes économiques

Lors de la huitième et ultime conférence du cycle Poincaré en 1933, Frisch rappelle le cadre dans lequel il inscrit la démarche économétrique, à savoir un rapprochement de l'économie avec les sciences physiques et biologiques, et les conséquences de ce positionnement en termes de production de connaissance :

« En économétrie comme dans la physique et la biologie on cherche à formuler des lois et relations quantitatives précises et à déterminer leurs formes concrètes par l'appel aux observations. Comme je me suis posé comme sujet de cette dernière conférence une analyse de la signification et de l'interprétation philosophique des lois que nous déterminons, il est donc

tout naturel que je parle du concept de lois non seulement dans l'économie politique mais d'une façon générale dans les sciences sociales, biologiques et physiques » (Frisch, 1933 in Bjerkholt and Dupont-Kieffer, 2009, L8, 129).

Il s'attaque explicitement aux questions cognitives fondamentales soulevées par la nature probabiliste du monde extérieur. L'invariance tant des phénomènes que des lois devient alors le cœur de ses préoccupations. Il montre dans un premier temps que le travail de transformation opérée le scientifique pour saisir les faits empiriques et les faits de la nature afin de les exprimer sous forme de lois pose trois types de problèmes : le premier relatif à la « forme » et l'invariance des lois statistiques des lois énoncées, le deuxième relatif à l'irréversibilité des phénomènes et enfin le troisième relatif à la « rigidité » de ces lois.

Il débute sa démonstration en assimilant une loi scientifique à une relation mathématique dans un système de coordonnées. Cette relation mathématique peut être retranscrite dans un autre système de coordonnées par une transformation qui préservera toute la complexité de la relation initiale. Cette opération semble bien triviale, pourtant la trivialité de l'opération s'efface lorsque le scientifique doit rendre compte de petites irrégularités présentes dans son matériel d'observations :

« S'il existe des petites irrégularités dans les observations, l'état des choses relatif aux transformations est fondamentalement changé. Dans ce cas, la nature de la transformation même commence à exercer une influence indépendante sur la complexité de résultat d'observation. (...) Et cette situation où il existe des irrégularités est justement la situation qui nous intéresse. Du point de vue de l'interprétation des résultats obtenus, c'est même la seule situation qui nous intéresse. En effet, si nous posons une question quelconque à la nature ou à l'organisme social, il ne nous répond jamais avec une précision mathématique. Il y a toujours un élément irrégulier ou aléatoire dont il faut faire abstraction avant de pouvoir discerner ce qui est systématique dans la réponse » (Frisch, 1933 in Bjerkholt and Dupont-Kieffer, 2009, L8, 131, emphase placée par Frisch).

Et pour mieux la nuancer, l'ambition heuristique de Frisch doit être mise en perspective par la notion de 'régularités' que j'ai exposée dans le premier chapitre. En 1933, à son public de non-économistes, il annonce d'emblée sans aucune

démonstration la conclusion de ses investigations sur l'invariance des lois, la possible irréversibilité des phénomènes et la construction par l'investigation scientifique elle-même des lois et des relations entre les phénomènes observés ; et cette position s'inscrit dans ce qui peut apparaître un début de critique de la possibilité de séparer le monde des choses du monde des hommes, en objectivant les sujets et les actions des humains :

« Ces trois aspects de la question vont nous conduire à une même conclusion générale, à savoir la relativité absolue de toutes nos observations et de toutes nos conclusions concernant le monde extérieur. Nous concluons sur la conception d'un monde extérieur comme étant au fond essentiellement chaotique » (Frisch, 1933 in Bjerkholt and Dupont-Kieffer, 2009, L8, 131).

En effet, Frisch relativise point par point le travail de « purification » qu'opère le scientifique, travail qui permet de distinguer le monde des objets de celui des sujets en garantissant toutefois un contrôle de l'homme sur le monde. Frisch cherche à garantir cette distinction et cette maîtrise de l'homme, et à montrer les limites de l'approche traditionnelle. Il semblerait que cette prise de conscience pourrait expliquer son attachement à détailler les conditions du travail de « purification » par l'analyse de la confluence d'une part et les conditions de l'articulation entre les discours et le travail des scientifiques et des politiques par la définition de la méthodologie « *selection-implementation* », d'autre part (Dupont-Kieffer, 2003, 2012).

La première limite à ce schéma heuristique est la remise en question de l'invariance des lois. Ce sujet de l'invariance n'est pas une préoccupation nouvelle pour Frisch puisqu'il l'avait déjà abordé en 1929 (Frisch, 1929a).

Reprenons l'argumentation assez technique des Conférences Poincaré sur l'invariance des lois statistiques. Soit un ensemble de points d'observations donnés pour deux variables (x,y) . Une transformation linéaire non-singulière transformera l'espace à deux dimensions défini par l'ensemble des couples (x,y) en un autre espace à deux dimensions défini par un ensemble (u,v) . Si l'ensemble de points n'est pas trop désorganisé, il est alors possible de choisir une méthode de régression et de déterminer une droite de régression qui ajuste l'ensemble des points. Frisch pose alors la question de la relation entre la droite de régression en (x,y) transformée en (u,v) et la droite de régression déterminée par la même méthode dans l'espace (u,v) . Le problème posé peut paraître simple d'un point de vue mathématique mais il devient

plus complexe d'un point de vue épistémologique, surtout si on admet l'inexistence de l'invariance des méthodes de régression par une simple transformation linéaire. Il conclut en fin de démonstration à l'inexistence d'une méthode invariante, notamment pour rendre compte des irrégularités et des variations des phénomènes du monde extérieur et par conséquent de formuler des lois objectives sur les phénomènes du monde extérieur et sur les relations existant entre eux.

Frisch passe ensuite à la question de l'irréversibilité des phénomènes. Je vois dans cette démarche et dans la construction de son argumentaire combien Frisch cherche à s'inscrire dans un travail de purification qui fait ce que Latour dénomme la modernité de notre monde. En effet, si les méthodes d'investigation scientifique des faits ne peuvent fournir elles-mêmes des lois objectives et invariantes, il faut sans doute se tourner du côté des faits, même s'ils sont changeants, pour pouvoir formuler des lois invariantes :

« l'irréversibilité des phénomènes physiques ne peut-elle pas nous fournir un principe invariant et objectif ? Du second principe de la thermodynamique, on a voulu tirer, comme vous le savez, des conclusions d'une portée tout à fait générale. On l'a considéré comme un principe hors de nous qui permette de donner un sens à la notion d'évolution. Le monde paraît se mouvoir dans un sens bien déterminé qui ne dépend pas de nos manières de l'interpréter » (Frisch, 1933 in Bjerkholt and Dupont-Kieffer, 2009, L8, 134).

Frisch se tourne vers la thermodynamique quand il affirme :

« Au lieu de dire qu'il existe une loi universelle d'entropie croissante, on peut arriver un jour à prouver un principe de conservation de l'entropie de la même façon qu'on a pour un principe de conservation de l'énergie. L'apparence de l'entropie toujours croissante sera alors attribuée au fait que l'on a jusqu'ici tenu compte d'une partie des phénomènes, qui sont le plus facilement accessibles, c'est-à-dire les phénomènes aux expressions thermodynamiques élémentaires (Frisch, 1933 in Bjerkholt and Dupont-Kieffer, 2009, L8, 137).

Enfin, Frisch recherche deux enseignements de ce détour par la thermodynamique. Premièrement, le principe d'entropie croissante qui repose sur l'hypothèse d'un

monde originel très organisé —le chaos apparaissant avec le développement de l'énergie— n'est pas généralisable ni éternel (Frisch, 1933 in Bjerkholt and Dupont-Kieffer, 2009, 135). Deuxièmement, il vaut mieux, par conséquent, adopter un schéma cognitif qui autorise une classification des phénomènes en trois catégories selon leur degré d'entropie positif, négatif ou nul, et cela d'autant plus que les phénomènes naturels ne sont pas uniformément distribués ou très rarement. Notons que Frisch n'emploie pas une forme passive : il prête un rôle actif à la nature :

« La seule chose que nous pouvons dire, c'est donc que d'après notre expérience la nature réalise les conditions initiales Φ_0 si rarement que les distributions finales Φ deviennent très rares. Mais alors ce n'est plus une démonstration a priori mais simplement un fait empirique. S'il est permis de s'appuyer ainsi sur un fait empirique, on pourra dire plus simplement que le plus souvent la nature réalise des distributions en phase finale uniformes » (Frisch, 1933 in Bjerkholt and Dupont-Kieffer, 2009, L8, 136).

Et Frisch constate que tous les phénomènes du monde extérieur ne suivent pas toujours des distributions uniformes :

« C'est donc dans les régularités de l'expérience qu'il faut chercher la justification du second principe. Et ici il est hors de doute qu'il y a un grand nombre de phénomènes qui s'expliquent d'une façon élégante si on introduit le principe. Mais il ne faut pas se laisser entraîner par le succès des cas particuliers même en très grand nombre pour en faire un principe universel. Il existe en effet des situations où le principe ne s'applique pas » (Frisch, 1933 cité in Bjerkholt and Dupont-Kieffer, 2009, L8, 136).

Le scientifique ne peut dès lors compter, par principe, sur les régularités du monde extérieur pour en déduire des lois invariantes, à quelques exceptions près.

Dans ce contexte, Frisch s'attaque au dernier caractère qui peut garantir la scientificité des lois produites par les scientifiques : leur « rigidité » ou plutôt leur robustesse. Il montre que cette caractéristique fondamentale d'une loi scientifique, *i.e* invariante et objective selon Frisch, résulte de la transformation elle-même opérée sur l'ensemble des données :

« Un point intéressant à retenir est que si vous voulez un très grand degré d'organisation dans le (x_1, x_2) essaim, il faut appliquer une transformation qui est assez proche d'une transformation singulière. Le degré d'organisation augmente au fur et à mesure que vous laissez la transformation tendre vers une transformation singulière. Dans le cas limite d'une transformation rigoureusement singulière, nous obtenons une ligne droite exacte en (x_1, x_2) » (Frisch, conférence 8, Frisch, 1933 in Bjerkholt and Dupont-Kieffer, 2009, 141).

Ainsi, pour un ensemble de points (x_1, x_2) qui ne sont pas parfaitement corrélés, il existe une transformation singulière en (u, v) telle que la corrélation peut être arbitrairement choisie comme proche de 1, le coefficient de régression de l'essaim de points ainsi transformé peut être choisi librement.

Frisch s'étend longuement sur les conséquences de ce constat : rien n'appuie l'invariance des lois scientifiques, mais quelles en sont les implications pour les scientifiques, quelle devient la raison d'être de leur travail ? Je cite longuement Frisch car il offre ici une des rares occasions pour comprendre ce qui a motivé le développement de l'économétrie et l'ancrage de cette nouvelle discipline sur les sciences physiques notamment :

« Dans un grand nombre sinon dans la plupart des problèmes que nous rencontrons dans les séries sociales, biologiques et surtout physiques, il n'y a rien qui impose le choix d'un système de repères plutôt qu'un autre. Mais où en sommes-nous alors ? Par une transformation de variables, nous pouvons faire disparaître l'apparence de loi, ou nous pouvons créer une loi et lui donner l'allure que nous voulons. La conclusion s'impose donc que toute loi, toute régularité que nous avons observée n'est qu'un effet de la manière spéciale dont nous avons choisi notre système de repères.

Mais quel est alors l'objet de la science ? La préoccupation incessante de la science, vous le savez, est de trouver des schémas théoriques, de nouveaux systèmes de repères qui concordent de mieux en mieux avec les soi-disants faits. Si la science trouve un écart, elle modifie son schéma théorique, elle introduit d'autres variables, en somme elle fait

une transformation, et l'ayant faite elle déclare en triomphant que maintenant elle a réussi à trouver un schéma qui concorde mieux encore avec l'expérience. Qu'est-ce que cela veut dire ? Cela signifie que la science a rendu les transformations plus proches des transformations singulières qu'auparavant. (...) Vous répugnez probablement une telle vue sur la science, vous aimeriez mieux regarder l'activité scientifique comme la recherche désintéressée des vérités objectives qui sont posées éternellement hors de nous. Et vous direz probablement qu'on a beau philosopher sur la nature chaotique de nos observations, vous n'en ne serez pas convaincu parce que vous sentez plus ou moins intuitivement que l'homme doit tout de même posséder une faculté de distinguer entre ce que vous apportez vous-mêmes et ce que la nature a fourni.

Nous sommes ici arrivés au point où il faut tirer les dernières conséquences de la manière de voir que je vous ai présentée ici. Il faut traduire cette manière de voir au plan biologique. Supposons que nous avons un être biologique quelconque qui était d'abord pourvu d'organes de sensations qui pourraient enregistrer les influences (ξ_1, ξ_2) . Il vivra dans un monde chaotique et il n'aura ni les moyens de prévisions ni les moyens de se servir des forces de la nature. Donc, il sera vraisemblablement éliminé. Mais d'autres êtres biologiques vont se développer, peut-être quelques-uns qui sont pourvus des organes de sensation qui sont influencés par (x_1, x_2) . Ces êtres-là vivront dans un monde très beau, ils vont développer des sciences de la nature, pour découvrir les lois de ce monde. Leur science va rechercher le même genre de transformations singulières que celui d'après lequel la transformation biologique a eu lieu. (...) Il y aura une interdépendance entre évolution biologique et développement scientifique, très analogue entre un démagogue et le peuple. (...) Mais le monde que la science découvrira ainsi sera très, très éloigné d'être un monde objectif». (Frisch, 1933 in Bjerkholt and Dupont-Kieffer, 2009, L8, 142-43).

Cette impossibilité à garantir l'invariance des lois scientifiques ne doit pas être comprise comme un frein au développement de la science, bien au contraire. L'économétrie ne doit pas renoncer au développement de raisonnements analogues à ceux conduits dans les

sciences physiques. La conception particulière de l'économétrie de Frisch définit cette dernière conjointement comme outil de connaissance et comme outil de politique économique. Il ne s'agit pas seulement d'une instrumentation de l'économétrie à des fins de politique économique. Bien sûr, il y a au cœur de sa définition et de sa pratique un appel à la responsabilité sociale de l'économètre telle qu'il l'a soulignée en 1950 :

« La démocratie, pour survivre à sa crise actuelle et survivre en tant que démocratie, a besoin de s'appuyer sur un genre assez nouveau d'analyse économique » (Frisch, 1950, 474-475).

Reste à savoir si la définition spécifique proposée par Frisch de l'articulation entre « théorie économique, mathématiques et statistiques » permet d'expliquer l'emploi des instruments et des méthodes économétriques comme autant de techniques au service de la politique économique. Plus précisément, l'économétrie spécifique de Frisch porte-t-elle en germe une théorie de la politique économique ? Il y a clairement deux versants du travail de Frisch : l'économétrie structurelle et la politique économique. Dans le cadre d'une interdépendance avérée de ces deux champs de recherche, une nouvelle définition du travail et du rôle de l'économiste, tant au sein de la communauté scientifique, que de la société civile se fait jour. C'est cette interdépendance entre les deux faces du travail économétrique qui me permet d'apparenter la construction de l'économétrie de Frisch à une discipline scientifique.

1B2. Articuler les discours du pouvoir scientifique et ceux du pouvoir politique : la place de l'expert et de l'expertise grâce à l'économétrie

Revenons sur les ponts entre le pouvoir scientifique et le pouvoir politique jetés dans l'article « Circulation Planning » (1934b) : Frisch y indique explicitement que l'économétrie, et plus précisément la modélisation structurelle, est le support nécessaire à la compréhension des lois économiques, et de ce fait permet leur utilisation à des fins de stabilisation de l'économie. De fait, le « genre assez nouveau d'analyse » consiste essentiellement en la construction d'instruments que sont le modèle économétrique structurel et la comptabilité nationale. Il ne s'agit pas de renouveler le cadre théorique ou de questionner les hypothèses fondatrices de l'analyse néo-classique comme le firent Keynes ou Hayek pour aboutir à des conclusions différentes, quant à la possibilité et à la nécessité de mettre en place des politiques

économiques interventionnistes. Rappelons que Frisch s'inscrit d'emblée dans une perspective interventionniste en posant le double postulat que la connaissance économique doit être mise au service de l'amélioration des conditions de vie de ses concitoyens et que la lutte contre les conséquences socio-économiques des crises permet de contrer la montée des totalitarismes, fort préoccupante à l'époque. Dans ce cadre, il apparaît que Frisch s'oriente vers la recherche de nouveaux formalismes qui offrissent une technique permettant d'analyser et de prédire les cycles économiques.

Comme je l'ai montré (Dupont-Kieffer, 2012a), Frisch axe sa compréhension des crises économiques sur l'idée qu'il existe des écarts du système économique par rapport à une position d'équilibre de référence. L'équilibre est ainsi placé comme la notion de référence permettant d'analyser la nature des cycles économiques. L'analyse de la persistance des cycles par Frisch est à comprendre comme la recherche des causes expliquant que le système économique peut s'écarter de sa position « naturelle » d'équilibre. Cette recherche le conduit à décrire les frottements et les forces qui empêchent le retour du système à l'équilibre. Comme le souligne Andvig (1985), Frisch oriente son explicitation de l'origine des crises économiques vers une analyse des dysfonctionnements de l'organisation de la production et de l'échange marchand. Nous pouvons même y voir une analyse des dysfonctionnements des « mécanismes » de l'échange. Ces derniers provoqueraient alors une insuffisance de la demande effective qui engendrerait en retour une chute du niveau de la production. Cette explication des crises en termes organisationnels sert de justification au caractère nécessaire de l'intervention de l'Etat dans la sphère économique : la persistance des déséquilibres et l'existence d'anticipations dépressives nécessitent d'aider le système économique à retrouver sa position d'équilibre en levant les entraves à la production et aux échanges. La solution passe alors par une réflexion sur les questions d'organisation de l'échange. Le modèle de 1934, qui constitue le cœur de l'article « Circulation Planning », est ainsi présenté par Frisch comme une réponse à des « phénomènes d'enfermement », qui sont autant de freins qui bloquent le fonctionnement mécanique du système économique. Mais force est de constater qu'il laisse alors de côté les réformes monétaires, l'inégale distribution des revenus entre les secteurs de l'activité économique et la possibilité que le marché aboutisse à des prix relatifs erronés. Il se concentre sur les défauts de coordination marchande dans une économie en crise.

L'intérêt de la solution proposée par Frisch est double. Elle révèle d'une part qu'il s'agit de mettre en place des politiques économiques de stabilisation de la conjoncture économique ; en

cela Frisch appartient à cette tradition ouverte par Keynes qui définit la politique économique comme une politique de régulation de l'activité économique. D'autre part, cet article conduit Frisch à réaliser qu'il existe une tension entre la logique de l'analyse économique centrée sur l'équilibre et articulée sur le tâtonnement walrasien, et celle de la politique économique qui vise à contenir les déséquilibres économiques et à parer les effets des crises. Rappelons que son but est de créer un centre d'échange ou plus exactement une chambre de compensation multilatérale, qui doit permettre de mieux faire circuler l'information entre les agents.

Cette agence doit être à même de calculer les taux d'échange optimaux et de distribuer les bons d'échange leur correspondant grâce à un modèle économétrique qui peut représenter et donner la structure des échanges optimale. Comme Frisch le reconnaît vingt trois ans plus tard, le modèle se doit d'être explicatif, mais également et surtout opérationnel :

« Il n'est pas suffisant de disposer d'une théorie élégante et facilement compréhensible comprenant quelques concepts et agrégats, tels la production totale, la consommation, l'investissement, la balance des paiements et autres concepts macroéconomiques, ou de disposer d'une théorie purement formelle s'appuyant sur de nombreux symboles, sources d'écritures, sous-écritures, super écritures et d'équations de toutes sortes (...). Elles [ces théories] doivent conduire à l'essence de l'analyse de la planification : une étude précise des possibilités réelles de donner des conseils spécifiques sur le traitement des problèmes économiques, tel que ces derniers apparaissent dans les discussions courantes de l'administration et du public » (Frisch, 1957, 2).

Le modèle proposé dans « Circulation Planning » (1934b) pose de manière indirecte le problème du statut du travail de l'économiste. Confronté à cet impératif opérationnel, Frisch est ainsi conduit à définir une méthodologie —celle des « entretiens »— et des outils spécifiques répondant aux critères de la politique économique —des modèles multi-sectoriels aux budgets nationaux en passant par les systèmes de comptes nationaux. L'économètre est placé dans cette intrication entre le travail du théoricien et celui du caméraliste à l'intersection de différents champs scientifiques et politiques. En effet, ce dernier se livre à l'observation et à l'analyse des phénomènes socio-économiques. Mais par ses recherches, il est conduit à tenir un rôle de conseil pour l'élaboration de la politique économique, et ce faisant il influence

l'objet même de son travail. Son jugement et l'explicitation de sa philosophie deviennent primordiaux pour la crédibilité de sa production scientifique.

Frisch va s'attacher à définir une méthodologie spécifique du travail entre l'économiste et le responsable politique élu de la nation pour définir la politique économique. Les objectifs seront fixés par les représentants du peuple.

a. Différents types de politique économique

Au sortir de la Deuxième Guerre mondiale, après dix mois d'internement dans le camp de concentration de Grini⁴¹, Frisch est de plus en plus convaincu de la nécessité de considérer l'économétrie non pas seulement comme un outil heuristique mais également comme le support et le vecteur de la politique économique. Il réaffirme dans l'éditorial du premier numéro d'*Econometrica*, paru en 1946, cette ambition affichée dès le début des années trente pour en appeler à « la responsabilité de l'économètre » (Frisch, 1946).

⁴¹ En octobre et novembre 1943, les soldats allemands arrêtent environ 12000 étudiants, dont 700 seront déportés dans les camps de concentration allemands. De nombreux professeurs d'université sont aussi arrêtés, et beaucoup d'entre eux sont emprisonnés dans des camps en Norvège. L'université est fermée. Frisch est arrêté par les allemands le 17 octobre 1943. Il reste du 17 octobre au 22 novembre au camp de Bredtvedt, puis à Berg jusqu'au 8 décembre 1943, et enfin à Grini du 8 Décembre 1943 au 8 Octobre 1944. Comparativement aux autres prisonniers, les professeurs d'université semblent y avoir été mieux traités. Il y organise avec d'autres professeurs dont Odd Hassel, prix Nobel de chimie en 1969, des cours pour les autres prisonniers. Son arrestation fait suite à ses prises de position contre les autorités collaborant avec les Nazis. En effet, à l'été 1943, le ministère de l'éducation annonce de nouvelles règles d'admission des étudiants, en fonction des appartenances politiques et raciales, et non plus en fonction des résultats. Ces critères furent rejetés par les enseignants de l'Université. Le 24 Septembre 1943, les doyens d'université sont convoqués à une réunion avec le ministre nazi Skancke, qui affirme que les doyens l'ont menacé d'une grève contre les nouvelles règles d'admission. Frisch, qui est doyen de la Faculté de Droit (1942-44) est présent. Elling décrit en 1961 :
« Skancke_ : Je ne devrais pas utiliser le mot "grève", mais plutôt "sabotage". Qu'en pensez-vous, professeur Frisch?

Frisch : Premièrement, au sujet de "grève" ou "sabotage". Ceux qui pour le moment disposent des instruments de pouvoir, sont en droit d'interpréter ces notions à discrétion et d'agir en accord avec cette interprétation. Il peuvent traiter ces faits comme il leur convient. Nous devons tirer les conséquences de ceci et y répondre selon notre conscience. Nous sommes convoqués à cette réunion en notre qualité de doyen, mais nous avons maintenant à répondre de nos actes futurs en tant qu'individus. Voici un bien étrange procédé, mais c'est dans cet esprit que je vous donnerai une réponse qui n'engage que moi. Selon moi, le point essentiel de cette affaire n'est pas le détail des règles. Je peux très bien imaginer de possibles statuts recommandant d'accorder de l'importance à d'autres critères qu'un niveau donné au baccalauréat. Mais j'insiste sur le point que de telles considérations exprimées dans les statuts sont loin d'éliminer les jugements personnels (...). Nous avons vu comment le ministère a essayé de prendre en compte des considérations politiques et nous voyons aujourd'hui comment les doyens sont soumis à des interrogatoires au cours desquels sont imputées des intentions que nous n'avons pas. Tout ceci est un procédé injustifiable dans un Etat de droit. Tout ceci me fait réaliser que l'université en tant qu'institution libre, scientifique et savante est en danger. Ainsi, l'affaire est devenue une question de conscience. La base du travail de ma vie est balayée, et je ne peux donc pas manquer d'en tirer les conséquences, sans me soucier des répercussions sur ma propre personne.

Skancke_ : Vous savez que vous prenez des risques, professeur Frisch ? Vous êtes un juriste.

Frisch : Je ne suis pas un juriste » (Elling, 1961, vol. 2, 175).

Tout en affirmant son statut professionnel d'économiste, Frisch marque là son attachement à la démocratie, aux libertés politiques individuelles et au respect de l'être humain.

On peut trouver dans la préface de la présentation du modèle OSLO-channel (1962), une classification explicite des approches de la politique économique fondée sur une démarche de modélisation économétrique. Cette classification correspond à quatre approches qui sont autant de stades d'une démarche visant à une utilisation extensive des modèles : *l'approche de spectateur [on-looker]*, *l'approche de l'instrument ad hoc*, *l'approche de l'instrument possible* et *l'approche de l'optimisation*. Cette classification apparaît comme le reflet de la prise de conscience assumée du basculement du statut de l'économétrie comme outil de connaissance au statut de l'économétrie comme technologie de la politique économique, ce que je détaille ci-après. L'économétrie est, dans les deux cas, comprise comme une technologie qui couple l'emploi d'une méthodologie d'analyse et de représentation des phénomènes économiques —l'analyse de la confluence articulée à la modélisation structurelle— et d'une création spécifique d'instruments heuristiques spécifiques comme les modèles, les indices statistiques, l'analyse macrodynamique, la comptabilité nationale et les budgets nationaux. Son statut diffère selon que l'économiste se situe dans une perspective positive ou normative. Cette dimension double est source de nombreuses ambivalences comme je le montre ci-après.

La première approche, « l'approche du spectateur », se situe en marge de la politique économique. Il s'agit de produire des prédictions sur les développements futurs de la situation économique, la fonction du modèle économétrique étant avant tout prévisionnel :

« L'analyste spectateur essaie simplement de prévoir ce qui va arriver sans tenter de manière systématique de trouver ce que quelqu'un —le gouvernement, une organisation privée ou une coalition d'organisations privées— *devrait* faire s'il veut influencer le cours des événements » (Frisch, 1962, 250) (Emphase placée par Frisch).

La deuxième approche, celle de « l'instrument *ad hoc* », préconise un rôle un peu moins passif de l'économètre. On voit s'amorcer le basculement du modèle économétrique comme instrument de connaissance à celui d'instrument de politique économique. A ce stade, il s'agit d'admettre qu'il est possible de définir des instruments qui permettront de modifier les phénomènes économiques et sociaux. La question devient peu à peu celle de l'étude de la compatibilité entre objectifs et instruments. A cette fin, le travail de l'économètre peut être défini comme :

« une première préparation timide pour une analyse plus poussée qui devrait déboucher sur un modèle dynamique précis comprenant un nombre bien défini de degrés de liberté » (Frisch, 1962, 250).

Dans le présent cas de figure, la définition de degrés de libertés dans le modèle macrodynamique signifie que l'économètre cherche des objectifs flexibles, qui sont déterminés par le fonctionnement actuel du système économique. Etant donné le fonctionnement du système, quelles sont les variables sur lesquelles on peut agir sans modifier la structure du système lui-même, quels sont les degrés de latitude laissés par le fonctionnement même de la mécanique économique ?

Pour la troisième approche, celle de « l'instrument possible », l'emploi des modèles pour l'élaboration de la politique économique a pour objectif de produire des politiques alternatives différentes avec, dans cette perspective, deux priorités : produire différents modèles utilisant différents types d'instruments de politique économique, et produire différents modèles qui prennent en compte les influences exogènes sur le développement de l'activité économique. Le critère ultime reste le caractère réalisable des politiques induites par ces modèles de sorte que pour « chaque ensemble donné de valeurs représentant les influences exogènes correspond un ensemble de choix d'instruments, qui couvre l'espace des possibles » (Bjerkholt, 1998, 327).

Dans le cadre de la dernière approche, celle de « l'optimisation », il ne s'agit plus seulement de cerner le champ des possibles, mais d'établir des choix quant aux actions à mener pour influencer l'activité économique. C'est alors une démarche d'optimisation sous contrainte qui repose sur la définition d'une « fonction de préférence » — ce qui revient à fixer un certain nombre d'objectifs économiques et sociaux et d'instruments pour y parvenir⁴² — et les techniques de programmation mathématique doivent aider à définir la politique préférable dans l'ensemble des possibles, pour atteindre les objectifs définis par les représentants de la Nation. C'est dans cette perspective que la coopération entre les responsables politiques et les économistes, qui se situent en dehors de la sphère des décisions politiques, devient cruciale, notamment parce qu'il est difficile de recenser l'ensemble des possibles :

⁴² Frisch renvoie implicitement à la règle dite de Tinbergen, qui stipule que la politique économique doit définir autant d'instruments que d'objectifs.

« Quand les efforts pour tracer le spectre des alternatives réalisables auront été menés pendant un bon moment, la conclusion s'imposera d'elle-même au public et aux autorités que le nombre d'alternatives possibles est si élevé qu'il est impossible de les pister simplement en en dressant la liste et en les étudiant de près » (Frisch, 1962, 254).

Dans la perspective de Frisch, le modèle économétrique structurel peut être un outil efficace de politique économique, si et seulement si, les autorités démocratiques spécifient les inflexions présentes et futures qu'elles souhaitent imprimer à la structure de l'économie, en fonction, par exemple, de la nature plus ou moins urgente des tensions économiques à dissiper sur les marchés et dans les activités de production, de consommation et d'échange. Cette spécification passe par la définition d'une *fonction de préférence*, qui elle-même aboutit à la construction de *modèles de décision*.

La coopération entre les responsables politiques et les économètres se fonde sur l'élaboration d'un *modèle de décision*, c'est « un modèle où les décisions possibles sont traitées *explicitement* comme des variables essentielles » (Frisch, 1962, 253) (emphase placée par Frisch). Elle suppose de détailler les étapes tant de la modélisation des décisions de politique économique, que celles qui distinguent l'élaboration de la mise en place effective de la politique économique.

b. Les étapes de la coopération entre les économètres et les responsables

Ainsi, après la Deuxième Guerre mondiale, Frisch assimile la politique économique à l'élaboration de modèles de planification économique. L'attachement de Frisch au système marchand est fondamental pour comprendre sa démarche, qui tend à utiliser l'économétrie pour mettre en place des mesures de planification de la production et des échanges :

« Le propos d'une planification avisée est de réaliser plusieurs objectifs spécifiques, tout en préservant autant que possible les avantages du système de concurrence » (Frisch, 1965, Conférence du Vatican, 1198)

En effet, Frisch (1965) en vient dans ce rapport de 1963, comme le souligne Louça (1999, 9), à expliquer⁴³ les avantages de la planification directe en comparant ses propositions à trois autres types de politique économique. Frisch critique en premier lieu les politiques fondées sur la courbe de Phillips [ce qu'il appelle le '*Samuelson-Solow menu*'] en raison de ses réticences à l'égard des réactions des institutions bancaires et financières, promptes à contrecarrer la politique économique développée.

Le second type de politique économique que Frisch analyse —pour la critiquer et mettre en avant les avantages de ses propres propositions en la matière— est celui qui se développe dans les économies mixtes. Les interventions directes de l'Etat pour fixer les quantités de biens et de services à produire tendent alors à briser les initiatives individuelles et à rendre le système de production et d'échange globalement inefficaces (Louça, 1999, 10). C'est au nom de ces mêmes raisons d'efficacité et de respect de la liberté que Frisch condamne enfin les économies centralement planifiées.

L'alternative proposée par Frisch fait du modèle un élément crucial de la politique économique, permettant à la fois de comprendre, de prévoir et d'agir. Il est alors nécessaire de distinguer deux temps de la politique économique : le moment de la sélection et le moment de l'application [*implementation*]. L'étape de sélection consiste à fixer des objectifs économiques spécifiques, et la phase d'application, à créer les organismes chargés de mettre en œuvre les moyens de parvenir à ces objectifs.

La phase de sélection est celle qui est la plus clairement précisée par Frisch car c'est le moment de l'explicitation des jugements de valeur. C'est le moment où il sera nécessaire de distinguer entre ce qui relève de la structure de l'économie —ce dont la structure du modèle doit rendre compte— et de ce qui relève de l'ambition politique pour la Cité. Lors de la phase ultime du développement de la modélisation économétrique —celle de l'optimisation— la politique économique repose sur la définition d'une *fonction de préférence*, cette définition étant conçue comme la recherche d'un optimum —l'idée étant que cet optimum peut ne pas être économique mais social. Le moment de la sélection doit aboutir à la définition de cette fonction de préférence, notamment à partir du moment où les responsables politiques se mettent à formuler lors d'entretiens leurs objectifs de justice sociale et de développement

⁴³ On trouve une tentative de justification de la nécessité de la planification telle qu'il la définit dans « L'emploi des modèles pour l'élaboration d'une politique économique rationnelle » (Frisch, 1950). Frisch identifie alors trois motifs : 1) le climat politique dans certains pays (mais Frisch ne spécifie le type de 'climat politique' qui justifierait la planification dans un système de marché) ; 2) l'apparition de nouveaux critères de justice sociale ; 3) la situation du commerce international, et son impact sur les économies nationales.

économique (rythme de la croissance, respect de l'environnement, normes d'éducation, respect des équilibres géographiques et d'occupation de l'espace national). La tâche de l'économètre est dans un premier temps de fixer ces objectifs flexibles. Le problème de la sélection consiste à déterminer les préférences des responsables politiques quant à l'avenir économique du pays. Les économètres les aident à formuler leurs préférences lors d'entretiens. Ils doivent ensuite leur indiquer dans quelle mesure leurs souhaits sont compatibles entre eux, et dans quelle mesure ils sont réalisables compte tenu de la structure réelle de l'économie. Les économètres devront formaliser les choix des responsables politiques et calculer la solution optimale. Frisch montrera qu'il est possible que l'on ait à se contenter d'un état qui, quoique moins désirable du point de vue du choix, ait l'avantage d'être désirable d'un point de vue concret car il pourra s'appuyer sur des variables d'action plus maniables en pratique.

Les prolégomènes de la procédure de sélection sont la définition d'un modèle qui décrit le fonctionnement de l'économie. Ce modèle sera constitué par un système d'équations structurelles nécessitant autant de variables exogènes que possible. Cet impératif permet de laisser aux responsables politiques la plus grande latitude d'action et de choix pour tenter de satisfaire les souhaits de leurs électeurs⁴⁴.

La décision ultime relative à l'état économique le plus souhaitable pour la Nation est prise par les autorités politiques en régime démocratique et en aucun cas par l'économètre, qui reste cantonné à un rôle de conseiller. Lors de l'étape dite d'application, le modèle économétrique de départ peut être modifié pour devenir un *modèle de décision*. Il faut fixer la valeur de certaines variables exogènes. A la suite des entretiens entre les économètres et les responsables politiques, certaines variables exogènes devront être considérées désormais comme des variables endogènes. Ainsi, dans la perspective de l'élaboration de *modèles de décision*, la manière de définir certains marchés et les comportements des agents en économie de marché peut évoluer, selon les objectifs poursuivis par les responsables politiques. Il est souvent acquis que, dans le cadre de la planification de la production et/ou des échanges, les comportements des agents économiques sont compris comme des données positives ne pouvant se modifier ou être modifiées. Au contraire, dans l'approche planificatrice de Frisch,

⁴⁴ Les équations structurelles doivent être 'autonomes', ce qui signifie dans la terminologie frischienne que les relations causales entre les variables définies ne peuvent être affectées par la modification d'une quelconque des autres relations, par le choix d'une valeur particulière pour une quelconque des variables ou par l'introduction de conditions supplémentaires portant sur les relations entre les variables des équations autonomes. Nous précisons les notions de modèle structurel et d'autonomie des relations dans le chapitre 5.

ces comportements sont inclus via différentes variables dans le modèle, que les responsables politiques peuvent infléchir⁴⁵ pour orienter l'économie dans la direction souhaitée.

Ainsi, dans l'approche du modèle de décision de Frisch, la limite entre le pouvoir politique et le pouvoir scientifique et positif s'estompe, bien que ce dernier compte sur la méthode des entretiens pour la maintenir. Comment ? En premier lieu, l'économètre doit déceler lors de l'étape de sélection les préférences des responsables politiques au sein de leurs discours, et doit formaliser ce qu'il croit comprendre. Pourtant, l'économètre doit non seulement traduire mais également interpréter. Et c'est dans cet acte d'interprétation que l'hybridation et la fin de séparation totale entre les deux pouvoirs prend lieu et place. Lors de l'étape dite d'application [*implementation*], le modèle économétrique change de statut puisqu'il passe d'instrument d'analyse et de prédiction à celui d'instrument pour modifier le réel : d'instrument positif il devient porteur d'un ensemble de valeurs constitutives d'une société.

⁴⁵ On peut citer à titre d'exemple des incitations monétaires et fiscales, des subventions agricoles et industrielles, des subventions pour financer un établissement industriel dans certaines régions géographiques et ce faisant soutenir une certaine mobilité du travail et des capitaux, ou assurer une meilleure diffusion de l'information sur l'état des marchés.

CHAPITRE 2

Le transport durable et les nécessaires « hybrides »

« Où qu'ils aillent et quoi qu'ils fassent, les hommes font des lignes en marchant, en parlant, ou en faisant des gestes. Non seulement les lignes sont omniprésentes, autant que l'utilisation de la voix, des mains et des pieds – à travers respectivement, la parole, les gestes et le déplacement – mais tous ces aspects de l'activité quotidienne de l'homme sont englobés dans la fabrication de lignes qui de ce fait les regroupe dans un champ d'étude unique. » (Tim Ingold, Une brève histoire des lignes, éd. Zones sensibles, Pactum Serva, 2011, 7)

Dans le cadre des questions relatives à la nature et à l'ampleur du changement climatique –et relatives à ses conséquences et ses différents impacts, c'est l'objet de recherches lui-même qui implique une approche multi-disciplinaire tant pour appréhender le phénomène que pour le mesurer, comme je le montrerai dans ce chapitre. Mais, force est de constater que si la double hybridation –au niveau de l'heuristique et au niveau de l'action, commence à être reconnue, les conditions de l'interaction entre le pouvoir « naturel » ou scientifique et les pouvoirs politiques (élus, décideurs, ONG, Médias, société civile, organismes internationaux) sont loin d'être définies. Ainsi, la question du changement climatique introduit un nouveau rapport entre le pouvoir scientifique et le pouvoir politique : l'expert mesure les phénomènes climatiques et tente d'identifier les sources d'émission de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre, propose des solutions aux représentants des citoyens et les cadres des administrations en charge de la politique choisie par les élus. Mais en retour, les scientifiques doivent penser, modéliser, tracer les voies à suivre pour atteindre les objectifs que les politiques se fixent. Parfois même, ils se tournent vers les politiques pour se fixer des horizons (le niveau des émissions et par conséquent l'accumulation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère conditionnant l'ampleur du changement climatique) ou pour arbitrer sur ce qu'ils ne peuvent observer (le prix des biens non-marchands ou valeurs tutélaires).

2A/ Des hybrides heuristiques pour comprendre le transport durable

Pour rappel, l'approche par les économistes de la question du transport est par nature complexe puisqu'il s'agit de définir, analyser et prévoir une demande dérivée (Quinet, 1998) en effet, l'utilité du transport est liée à d'autres activités et l'analyse des motifs du déplacement sont déterminants pour en saisir la réalisation ou non, le choix du mode, le choix de l'itinéraire, la distance parcourue, le temps consacré à ce déplacement, le fait de combiner ou non plusieurs déplacements. La compréhension des caractéristiques de la mobilité –et son déploiement en termes d'utilisation du système de transport notamment et les externalités que cette utilisation génère sur l'environnement, le capital humain et la croissance économique– pour un individu ou d'un groupe d'individus (regroupés par territoire, par caractéristiques démographiques comme l'âge ou socio-économiques par exemple) nécessite de mobiliser un ensemble de disciplines scientifiques allant de l'économie à l'informatique en passant par la géographie, la démographie, la psycho-sociologie *etc.* L'analyse de la mobilité et des systèmes de transport est la parfaite illustration de ces questions qui par nature ne peuvent que produire des hybrides quel que soit le travail de « purification » d'une part et de « traduction » au sens de Latour (1997) d'autre part. Lorsqu'est introduite la dimension durable en sus à l'analyse, il s'agit d'identifier (et de mesurer) les externalités du secteur 'transport' d'une part puis les leviers d'action et les acteurs pour un développement durable d'autre part. Le sujet explique que le programme de recherches puisse apparaître assez épars. Mais cette approche éclatée en termes de thèmes et de disciplines mobilisées est nécessaire pour essayer de saisir la complexité et les nombreuses dimensions du transport durable.

2A1. Le transport durable au cœur de mon programme de recherche : une approche éclatée

Dans le cadre d'une réflexion sur le transport durable, le cœur de mes recherches porte sur la définition de la mobilité durable et l'analyse de ses déterminants. La compréhension des performances du système de mobilité est aujourd'hui placée sous l'angle des impératifs du développement durable. La mobilité des personnes et le transport des marchandises ont des conséquences sur la croissance, sur l'environnement et sur le capital humain. Ainsi, mes recherches s'articulent autour de deux axes : 1/ l'analyse de la mobilité et la compréhension des déterminants de la mobilité et la demande routière (pour les voyageurs

et les marchandises) et, 2/ les conséquences des performances du système de mobilité en termes d'externalités positives et négatives, notamment sur l'environnement et le capital humain. Ce second volet se prolonge par l'analyse des politiques de transport comme réponse aux impératifs de durabilité, et par conséquent par l'analyse des liens entre outils heuristiques et outils de politique de transport. Plus particulièrement, je m'intéresse à d'une part l'évaluation économique des externalités et d'autre part à la place des instruments économiques dans la définition et la conduite des politiques d'adaptation au changement climatique et de réduction des gaz à effet de serre.

a. La mobilité

Mon programme de recherche aborde la question de la mobilité en se concentrant sur les points suivants : affiner la compréhension et le suivi de la mobilité selon le type d'environnement (urbain, semi-urbain, rural), le motif de déplacement et le mode de transport ; comparer les approches globales et locales (l'insertion d'un territoire local ou régional dans un territoire national et/ou européen ; mieux caractériser les comportements (pour les voyageurs : décomposition individuelle par âge, occupation, genre, niveau d'études, niveau de revenu et localisation spatiale), leurs évolutions dans le temps ; et enfin penser l'articulation les déplacements 'voyageurs' et 'marchandises'.

Résultats et travaux en cours :

a/ Après avoir comparé les différentes possibilités de mesurer la mobilité, je me suis penchée sur une analyse croisée du nombre de déplacements, des budgets-temps et des budgets-distances, notamment sur l'Ile-de-France. Ensuite, j'ai envisagé la mobilité durable sur la base de la projection de la mobilité quotidienne des Franciliens à l'horizon 2020, avec l'objectif particulier de comprendre les spécificités de la mobilité hommes/femmes.

b/ En partenariat avec l'Université de Lisbonne, j'ai déterminé d'une part le zonage optimal pour le développement d'un modèle génération-distribution, et d'autre part un zonage qui permet de rendre compte conjointement de la densité des déplacements et des émissions de gaz qui leur sont relatives.

c/ L'encadrement de la thèse de Zéhir Kolli, qui questionne en particulier les lois de survie optimales pour estimer la queue de la distribution par âge du parc automobile, contribue à une volonté d'analyser plus finement la structure des parcs de véhicules routiers. Cette recherche s'inscrit dans un travail approfondi, mené par plusieurs membres du laboratoire DEST

(Dynamiques Economiques et Sociales du Transport), sur l'usage des véhicules routiers, notamment sur le taux d'occupation des véhicules et le taux de remplissage des camions.

d/ Analyser et identifier le rôle du contexte culturel et institutionnel sur :

- la perception du système de transport par les usagers : une recherche achevée sur la perception du risque lié à la sécurité et à la sûreté selon le contexte national et selon les modes de transport [projet PETRIS pour une comparaison France (Paris, La Rochelle) –Norvège (Oslo, Kristiansand)] après avoir supervisé un état de l'art sur «la sécurité et la sûreté dans les différents modes de transport » pour la Direction de la Recherche du Ministère des Transports (DRI) dans le cadre d'un ERA-NET 13. Cette recherche avait par ailleurs soulevé les questions de mise en place de politique de transport selon un contexte de risque par contraste à un contexte d'incertain radical.

- la mise en place de politiques de transport pour réguler certaines pratiques dont le dépassement de la vitesse autorisée : une recherche sur l'impact du Contrôle Sanction Automatisé selon le contexte national de son implantation (projet ICASES pour une comparaison France, Suisse, Australie et Norvège)

Perspectives :

a/ Il s'agit d'étudier sur la base des récentes enquêtes de mobilité l'hypothèse de comportement différencié de mobilité entre les hommes et les femmes selon certaines caractéristiques socio-économiques (activité, CSP, niveau d'études, situation maritale et parentale), démographiques (âge, génération). Plus spécifiquement, je cherche à identifier les déterminants communs et différenciés de ces mobilités, notamment pour saisir si le développement de la garde partagée pour les parents divorcés amène à des convergences de comportement de mobilité entre les hommes et les femmes. Dans cette perspective, je suis en charge de l'organisation de la 5^{ème} conférence du *Transport Research Board* (TRB) des *National Academies* sur *Women's issues in Transportation* et assure la présidence du comité scientifique que l'institut Ifsttar⁴⁶ accueillera en avril 2014.

b/ Je souhaiterai poursuivre le développement d'un zonage rendant compatibles des analyses et des projections de mobilité, un diagnostic environnemental et un modèle quatre étapes afin de penser l'articulation entre ce zonage fonctionnel et le zonage administratif qui sert de cadre à la définition et à la mise en place des politiques de transport au niveau local.

⁴⁶ Ifsttar (Institut français des sciences et des techniques du transport, de l'aménagement et des réseaux) est né en janvier 2011 de la fusion entre le LCPC (Laboratoire des Ponts et Chaussées) et de l'INRETS (Institut national de la recherche sur les transports et leur sécurité)

b. La demande de transport et ses externalités, notamment atmosphériques et environnementales

Il s'agit d'évaluer les externalités, notamment sur l'environnement, de la croissance de la demande de transport et du système de mobilité. Cette quantification des émissions ainsi que la compréhension des effets rebonds permettront d'envisager la définition et l'évaluation de stratégies visant à réduire les nuisances occasionnées (pollutions atmosphériques locales et émissions de Gaz à Effet de Serre) par les systèmes de transport sur l'environnement.

Résultats :

a/ Mes recherches ont permis d'élargir l'analyse des impacts énergétiques et d'émissions de polluants atmosphériques en développant une nouvelle approche du Diagnostic Energie Environnement des Déplacements (DEED), en complétant le diagnostic « résidents » par des estimations de tous les autres trafics (transit, échanges des voyageurs, ainsi que ceux du transport de marchandises en ville, et en sus les excursionnistes et les touristes). Cette mesure élargie des impacts de la mobilité (DEM ou Diagnostic Environnemental de la Mobilité) a été testée lors d'une première expérimentation sur la métropole lilloise ; j'étends au sein du DEST cette analyse à l'Ile-de-France. Dans le cadre d'un partenariat entre l'Action Spécifique⁴⁷ 'Quantifier et évaluer les émissions de Gaz à Effet de Serre [GES] du secteur transport' et l'ADEME-CERTU, de nouveaux terrains sont exploités à Bordeaux, Grenoble et Strasbourg. Cette recherche doit permettre la rédaction d'un guide méthodologique certifié par le CERTU de mesure et de quantification des GES en milieu urbain. Ce guide offre une méthodologie harmonisée aux collectivités locales, notamment pour celles ayant l'obligation d'évaluer l'impact environnemental du Plan de Déplacements Urbains (PDU).

b/ Sachant que l'un des enjeux majeurs de ce thème réside dans l'identification des stratégies de réduction des GES et dans la définition d'outils de suivi, une dimension importante de mes recherches actuelles est centrée sur l'analyse macro-économique des politiques de développement durable dans le transport. Un des aspects de cette recherche⁴⁸ sur les DEM consiste à s'intéresser, sur la base d'une analyse bibliographique critique, aux coûts monétaires du changement climatique, et en son sein du poids des transports (les réflexions connexes portent sur la valeur à donner à la tonne carbone, sur le lien entre cette valeur et le

⁴⁷ Une action spécifique finance la collaboration entre les laboratoires au sein d'Ifsttar sur une thématique précise pour une durée de deux ans au maximum.

⁴⁸ Recherche initiée par la participation de C. Rizet et d'A. Dupont au *Working Group "Strategies to reduce GHG emissions in the transport sector"* (International Transport Forum/Organisation for Economic Cooperation and Development). Elle se poursuivra dans le cadre du projet BETTI (Bilans Environnementaux Transports dans les Territoires Intégrés, recherche financée par l'ADEME à partir de 2011, pour trois ans).

prix des énergies fossiles) ainsi qu'à l'estimation des coûts d'évitement. Cette recherche consiste également à affiner la comparaison entre les analyses « coûts-bénéfices », les analyses « coûts-efficacité », les analyses multicritères et les analyses de politique de 'backcasting' avec pour objectif le développement d'outils d'aide à la définition des politiques de réduction des gaz à effet de serre dans le secteur des transports. Cette recherche implique d'étendre notre analyse critique à la comparaison entre les évaluations *ex ante* et les évaluations *ex post* des politiques de transport à portée environnementale.

Perspectives :

a/ En prolongement de l'action spécifique « Quantification et évaluation des émissions de gaz à effet de serre dans le secteur du transport », il s'agit, dans le cadre du contrat BETTI et en partenariat avec l'équipe EEM (Energie-Environnement-Mobilité), l'ERA MOB (équipe de recherche qui associe le DEST/Ifsttar et CETE Nord- Picardie) et du GERI EEST⁴⁹, de développer et de standardiser la méthode des Diagnostics Environnementaux de la Mobilité (sur la base de la recherche menée sur Lille) avec une prise en compte simultanée des trafics (internes, transit et échanges), des modes de transport, en pensant à l'articulation transport de voyageurs et transport de marchandises. Plus spécifiquement, il s'agit de définir la méthodologie pour évaluer économiquement le coût de ces externalités et pour développer une analyse coûts-bénéfices des politiques de réduction des émissions de CO₂ et de polluants locaux (comme les Plans de Déplacements Urbains)⁵⁰.

b/ Ce dernier axe important de mes recherches pour les quatre années à venir s'appuiera sur le questionnement suivant : en quoi l'intégration des problématiques liées au changement climatique et à l'environnement modifie d'une part, la manière de définir les politiques de transport, et d'autre part, en quoi cette intégration renouvelle le cadre épistémologique et les outils analytiques et conceptuels (taux d'escompte et incertitude, indétermination des décisions rationnelles en incertain) de l'évaluation économique et de la définition des politiques de transport ? Quelle est la place de l'analyse économique dans la définition des politiques de transport durable ? Quelle place pour les incitations économiques des politiques pour promouvoir la mobilité durable ? Quelle place pour les préoccupations environnementales par rapport à d'autres préoccupations de sécurité ou de croissance économique ?

⁴⁹ Les Plateformes Intégratrices (PFI devenues GERI en 2011) ont pour objectif de réunir les chercheurs de différents laboratoires sur une thématique précise, pour l'échange d'informations et le développement d'approches multi-disciplinaires. Le travail du GERI EEST (Energie-Effet de Serre-Transport) porte sur les liens entre transport et consommation d'énergie, et plus largement sur les impacts environnementaux et climatiques du transport.

⁵⁰ La thèse de Claire Papaix (2011-2014) que j'encadre porte notamment sur ce dernier aspect.

Je me penche plus précisément sur la nature du risque lié au réchauffement climatique et son intégration à l'analyse économique sur les questions des politiques d'adaptation au changement climatique, dans le cadre d'un rapport d'expertise pour le FIT/OCDE.

2A2. Se tourner vers d'autres sciences pour mieux analyser ou prévoir : l'hybridation inévitable et nécessaire dans le champ du transport

J'ai montré que Frisch a fondé sa démarche de connaissance sur une intrication de différents « fragments » de science afin de pouvoir objectiver les phénomènes économiques et de rendre ainsi bien distincts la nature et la société. Le travail de suppression des bruits et de séparation entre les variables relevant de la contingence humaine et les variables relevant de la mécanique économique que représente la modélisation s'appuie sur un ensemble de discontinuités (notamment les aller et retours entre théorie et observation) pour saisir la continuité du phénomène étudié. Cette intrication et la modélisation participent de cette volonté et masquent le caractère hybride de l'économétrie qui tente de plaquer la grille de représentation des sciences physiques de la nature aux phénomènes humains. Comprendre les limites de la « modernité », c'est déjà identifier l'hybridation à l'œuvre dans la démarche de connaissance et voir comment l'intrication de fragments de science aboutit à la création d'hybrides qui ne distinguent pas la nature et la société. Certains champs, comme celui du transport, et certaines questions, comme le réchauffement climatique, nécessitent cette hybridation.

Dans le cas du transport, les projections de mobilité et de motorisation exigent de combiner différentes approches, notamment démographiques, statistiques et mathématiques d'une part. Cette combinaison qui débouche sur une objectivation des comportements de déplacement des « humains » permet de mieux comprendre et prévoir la société de demain, d'autre part.

Dans le cas du réchauffement climatique, la compréhension des développements récents de ce phénomène très « naturel » requiert de combiner les approches disciplinaires, au point qu'elles deviennent dépendantes les unes des autres.

a. Prévoir la mobilité et la motorisation : les modèles âge-cohorte

Toujours, dans le champ du transport, notamment en raison de l'importance des investissements en volume et en valeur des infrastructures, il est crucial de pouvoir établir des prévisions de mobilité et de motorisation (par exemple le nombre de véhicules motorisés par ménage). L'analyse des tendances passées de la mobilité (que l'on peut exprimer en nombre de déplacements par jour, en budget-temps et en budget-distance et en volume pour les marchandises) et du choix modal apparaît toutefois comme une étape importante pour mesurer la contribution du secteur à la croissance économique mais aussi plus prosaïquement pour apporter une aide et un point de référence pour la planification en infrastructures de transport, d'aménagement du territoire et en services. Cependant, cette analyse doit être complétée par une analyse de la mobilité future des passagers et des marchandises. Les modèles réputés les plus robustes pour ces prévisions sont les modèles démographiques ou dit modèles-âge-cohorte.

Dans sa forme fondamentale, un modèle démographique décrit les modifications de l'effectif global et de la structure d'une population humaine sur un territoire donné (Krakutovski, 2004). L'hypothèse fondamentale du modèle démographique âge-cohorte porte sur la forme de la courbe profil-type qui relie l'âge de l'individu à la mobilité quotidienne au cours du cycle de vie. Le comportement en termes de mobilité de l'ensemble des individus du même âge composant une cohorte (i.e. une génération de référence), est par hypothèse stable au cours du temps. Les changements de comportement remarqués dans les différentes périodes d'enquêtes reflètent les habitudes ou des préférences de différentes générations composant la société. Le modèle Age-Période-Cohorte contient également des variables de périodes qui jouent le rôle de séparation d'effets de génération avec ceux de périodes.

La structure générale d'un modèle démographique contient deux parties principales (Gallez, 1994) :

- la première comprend les projections de la population fondées sur des phénomènes purement démographiques permettant d'estimer les effectifs d'individus (ou de ménages) selon leur âge, leur genre et leur zone de résidence; cette partie du modèle est l'objet d'étude des démographes (le modèle OMPHALE de l'INSEE) ;
- la seconde partie est au cœur de la modélisation de la mobilité et elle comporte les estimations d'un profil standard de mobilité d'un voyageur au cours du cycle de vie. L'idée fondamentale est de tracer la courbe d'évolution de la variable endogène de la mobilité (par exemple, le nombre de déplacements, les distances parcourues...) selon l'âge des

individus et de quantifier l'ampleur de déformation de ce profil-type causée par des effets de génération et de période. La modélisation s'opère à travers un modèle Âge-Période-Cohorte (APC) ou par un modèle Âge-Cohorte (AC).

L'expression mathématique du modèle « âge cohorte » est suivante:

$$M_{i,p} = \alpha_{ik_0} \cdot A_i + \gamma_k \cdot C_k + \varepsilon_{i,k,p}$$

La formulation du modèle « âge-période-cohorte » est suivante :

$$M_{i,p} = \alpha_{ik_0} \cdot A_i + \gamma_k \cdot C_k + \beta_p \cdot R_p + \varepsilon_{i,k,p}$$

$M_{i,p}$ est la mobilité d'individus mesurée selon une des trois variables suivantes : fréquence de déplacements (exprimée en nombre de déplacements/individu/jour), budget-distance (exprimé en km/individu/jour), budget-temps (exprimé en min./individu/jour). L'indice i montre la tranche d'âge d'individu pendant la période p .

α_{ik_0} sont les paramètres qui expriment avec quel degré l'âge des individus est un déterminant sur sa mobilité. Ces paramètres forment la courbe du profil-type au cours du cycle de vie pour la génération de référence k_0 .

A_i se réfère aux tranches d'âges des individus (par tranche de 5 ans à partir de 5-9 ans jusqu'à 80 ans et plus).

γ_k sont les paramètres qui mesurent l'écart de chaque cohorte par rapport au profil-type de la génération de référence ($\gamma_{k_0} = 0$). Ces décalages permettent d'effectuer des projections du phénomène étudié dans la période déterminée.

C_k sont les indicatrices des cohortes quinquennaux (avant 1911, de 1911-1915... 1991-1995)

β_p sont des paramètres qui mesurent les déformations du profil-type au cours du cycle de vie résultant d'effets de période.

R_p est la variable de la période « p » qui peut être considérée comme un événement ou un phénomène qui influe sur le comportement de tous les individus durant un certaine période.

$\varepsilon_{i,k,p}$ est le terme d'erreur du modèle.

Les projections de la mobilité de Franciliens sont effectuées selon le modèle « âge-cohorte » de 1975 jusqu'à 2030 avec un pas de 5 ans. Les cohortes concernent les générations de naissances. La génération de référence est celle de 1966-1970 pour laquelle est estimé le profil-type au cours du cycle de vie.

Cette recherche⁵¹ montre qu'il faut associer démographie, projections démographiques mais aussi observations de la mobilité (exprimée en nombre de déplacements, en budget-temps, en budget-distance), projections des tendances passées afin de pouvoir établir des prévisions des comportements de déplacement et de choix modal des individus. Le modèle est explicitement une intrication entre des fragments de discours scientifiques sur le social. En effet, comme dans le cas de l'économétrie frischiennne, il permet d'objectiver l'humain et offre des garanties (vérité, universalité) à la parole du scientifique qui doit parler de la société. Mais la complexité de la mobilité permet de souligner qu'il faudrait élargir les perspectives et inclure d'autres points de vue pour comprendre les déterminants et les modalités de la mobilité. Latour (1997, 2012) prend à juste titre l'exemple des transports pour illustrer sa défense de la fin de la modernité et la nécessité de raisonner en réseaux. Mais ce champ n'a pas encore réussi à créer des « natures-cultures » (Latour, 1997, 140) bien qu'un début de dialogue entre les différentes disciplines des sciences dites dures et des sciences dites molles du champ transport s'amorce pour développer une approche multi-disciplinaire intégrée.

Les interrogations soulevées par le changement climatique poussent justement à l'émergence de ces « natures-cultures » et de ces hybrides.

c. Vers une hybridation explicite et nécessaire ? La mesure des émissions de gaz à effet de serre

Un des apports de la science moderne est que la compréhension des phénomènes passe notamment par leur mesure. Elle peut participer à la définition même du phénomène (Daston, 1983 ; Desrosières, 1993, 1997). L'effet de serre est un phénomène complexe naturel, mais les évolutions récentes en nature et en ampleur des émissions de Gaz à Effet de Serre (que l'on nommera par la suite GES) impliquent de comprendre comment et dans quelle mesure les activités humaines participent au réchauffement climatique. Cette volonté de comprendre les interactions entre la nature et la société dans ce cas a poussé les chercheurs des différentes disciplines scientifiques à mesurer les émissions de GES et leur concentration dans l'atmosphère tant dans le passé, que dans le présent et à utiliser cette connaissance pour en

⁵¹ Cf. annexe 1 pour une présentation synthétique des résultats de recherche (Dupont-Kieffer, 2009).

calculer des projections à différents horizons temporels (2020/2050/2100). L'effet de serre est un phénomène naturel mais il a pris une dimension humaine à double titre : d'une part son origine, les émissions de GES, est dorénavant majoritairement liée aux activités des sociétés humaines, et d'autre part l'accroissement de l'effet de serre provoquera à terme (terme et ampleur incertains) un changement du climat dont les conséquences affecteront profondément et selon de nombreuses dimensions ces différentes sociétés. Dans ce contexte, savants, experts, citoyens et politiques se tournent vers la mesure afin de s'assurer une compréhension voire un contrôle du phénomène, ce que j'approfondirai dans le second chapitre.

La mesure des émissions du secteur transport dépend d'un grand nombre d'hypothèses qui implique différentes disciplines scientifiques comme je vais le montrer ci-dessous. L'explicitation des choix faits lors des différentes étapes de la mesure est ainsi très importante pour comprendre la pertinence et la portée de l'information produite au final, qui sert de référence pour la décision politique.

Pour rappel, le secteur du transport génère deux types d'émissions de gaz dans l'atmosphère :

- les polluants atmosphériques locaux (Oxyde de carbone, CO ; Composés organiques volatils, COV ; Oxydes d'Azote, NOx, Particules, Ps ; Dioxyde de soufre, SO₂)
- Les Gaz à effet de serre [GES] (Dioxyde de Carbone, CO₂, Méthane, etc.)

Ces deux types de gaz se différencient par l'échelle spatiale et temporelle de leurs impacts, en particulier sur la santé humaine et l'environnement. Les premiers sont directement nocifs pour les individus de la zone où ils sont émis (troubles respiratoires notamment) ainsi que pour la faune et la flore locale. Ces gaz ont un impact à l'échelle locale et régionale, et leurs effets se font sentir dans le court et le moyen termes. Les seconds participent au réchauffement climatique. Leur nocivité est plus difficile à percevoir car leur échelle est planétaire et leurs effets se feront sentir de manière indirecte, c'est-à-dire par les conséquences du réchauffement climatique qui sont échelonnées dans le temps et dont l'ampleur ne sera connue que sur le long terme.

1/ Qu'est que l'effet de serre ? Un phénomène 'non-humain' qui devient un phénomène 'humain'.

Les variations climatiques et les perturbations de température ne sont pas toutes liées à la teneur en GES dans l'atmosphère mais également à la modification des paramètres de l'orbite terrestre, à la dérive des plaques (...) à l'activité volcanique. Le lien entre la présence de gaz à pouvoir réchauffant dans l'atmosphère et la température à la surface du globe est un phénomène naturel et sans cet effet de serre, la température à la surface de la terre serait en moyenne de -19°C et non de + 15°C. La teneur en GES dans l'atmosphère évolue dans le temps, notamment sous l'effet de l'action anthropique.

La concentration en gaz à pouvoir réchauffant dans l'atmosphère représente un stock et non un flux. En effet, les gaz émis sont stockés en couches autour de la planète et de nombreuses années sont nécessaires à leur dissolution naturelle.

Certaines émissions de GES sont un phénomène naturel, lié aux interactions entre rayonnement du soleil, biomasse, circulation de l'air et strates de l'atmosphère. Toutefois, l'activité humaine et animale émet également des GES. Il est par conséquent nécessaire de distinguer les GES non artificiels et ceux liés à l'activité industrielle, soit :

- GES non artificiels : vapeur d'eau (H₂O), Dioxyde de carbone (CO₂), Méthane (CH₄), Protoxyde d'azote (N₂O), Ozone (O₃) ;
- Autres GES liés à l'activité industrielle : Dichlorodifluorométhane (CFC-12), Chlorodifluorométhane (HCFC-22), Tétrafluorure de carbone (CF₄), Hexafluorure de soufre (SF₆).

Les GES ne représentent que 0.04 % de l'atmosphère mais ils déterminent la température à la surface terrestre. Ils sont majoritairement composés de dioxyde de carbone (à 99%), mais également d'ozone, de protoxyde d'azote et de méthane. La vapeur d'eau est à l'origine de 55% de l'effet de serre.

Le carbone est à l'origine des gaz à effet de serre et suivre son cycle permet d'évaluer ce qui sera rejeté dans l'atmosphère puis stocké, pouvant engendrer un effet « cocotte minute ». Charles David Keeling (Institut océanographique Scripps de la Jolla, Californie) a développé une mesure de la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, et a effectué ses mesures sur une période de 47 ans, de 1958 à 2005. Ces recherches ont abouti à deux résultats

principaux : 1/ ils montrent un accroissement ininterrompu du taux de concentration dans l'atmosphère au cours d'un demi siècle ; 2/ ils permettent d'identifier un cycle annuel du carbone, variable d'une hémisphère à l'autre— le cycle annuel étant principalement déterminé par le cycle annuel de croissance et de décomposition de la végétation à la surface terrestre. Le potentiel d'absorption du carbone se situe dans l'hémisphère Nord qui abrite la majeure partie des forêts d'arbres à feuilles caduques. Les experts du climat s'accordent à penser qu'en prenant simultanément en compte le cycle de vie annuel du carbone en volume (Gigatonne) et la répartition des différents types de végétaux à la surface du globe, environ 8 % du dioxyde de carbone de l'atmosphère est absorbé puis rejeté par la végétation chaque année, soulignant ainsi le rôle essentiel de la végétation dans les stratégies de lutte contre l'effet de serre.

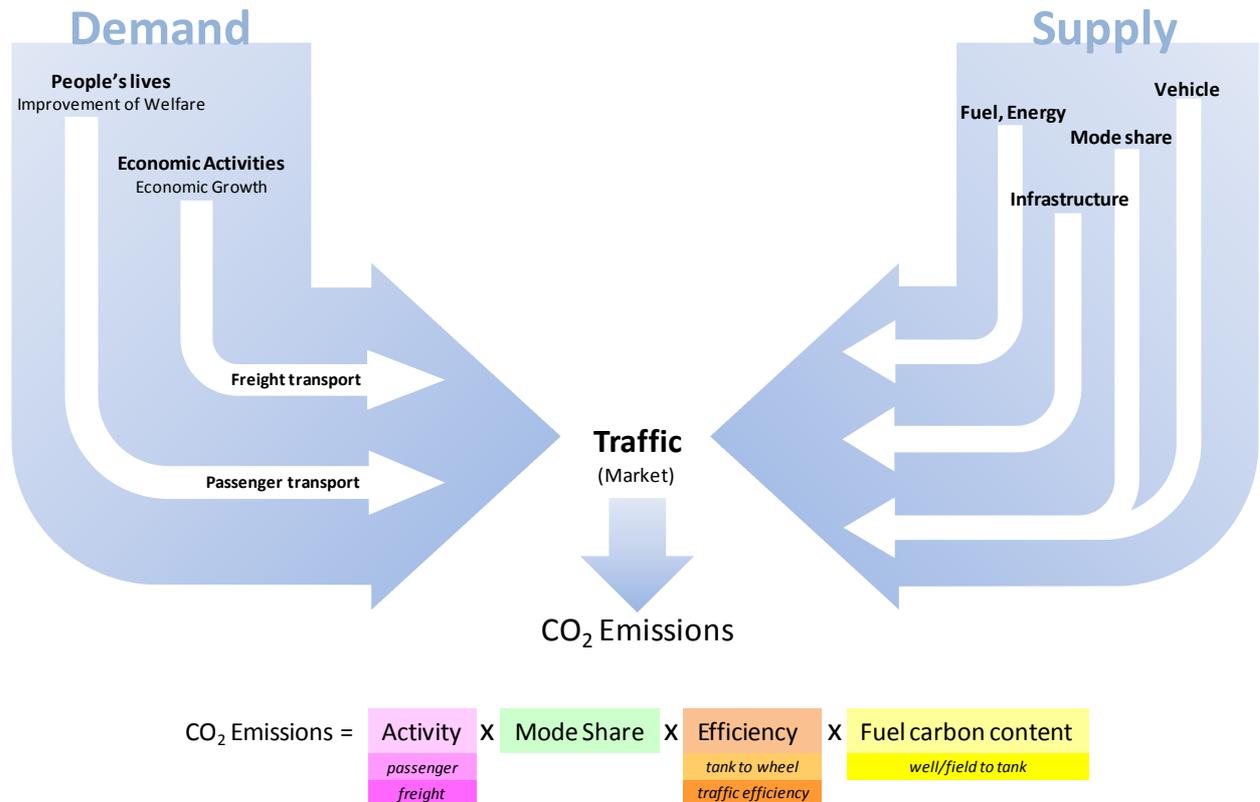
Ainsi, dans le cas de l'estimation de l'effet de serre, il faut raisonner en stock et non pas en flux de gaz carbonique : la durabilité de l'effet de serre se calcule en référence au stock de CO₂ dans l'atmosphère rapporté à la capacité d'absorption des océans et des forêts. Il est nécessaire d'envisager un calcul de coût d'opportunité lié à l'accumulation de gaz carbonique. L'identification des niveaux d'émissions et des mécanismes d'impact des émissions de gaz carbonique à court, moyen et long termes est alors essentielle.

2/ Les sources des émissions dans le secteur du transport routier

La mesure de la contribution du secteur transport aux émissions de GES, et par conséquent à l'effet de serre, repose sur un schéma causal qui a été défini par Lee Schipper (2006, 2008), ingénieur en énergie qui s'est peu à peu tourné vers d'autres disciplines pour comprendre les liens entre transport, consommation d'énergie fossile et émissions de GES. Cette analyse a permis de rassembler en une démarche cohérente les différentes entreprises de mesure des GES conduites par les chercheurs, les ingénieurs et les opérateurs du transport depuis quelques années. En identifiant clairement, les différentes étapes et les différents déterminants des émissions, Schipper offre également des cibles d'action possibles. On peut analyser la chaîne causale des émissions par le secteur du transport comme suit, chaîne qui se révèle un hybride parfait :

Evaluation Framework for Addressing Transport CO₂

Emissions



Source: *Opportunities and Costs for Transport GHG Reduction*, Rapport FIT/OCDE, Executive Summary, (2013, 10).

Les déterminants des émissions d'un déplacement résultent de la combinaison de plusieurs sources : le déplacement (longueur, fréquence, vitesse, durée), le recours important au mode routier pour les déplacements urbains et interurbains (voyageurs et marchandises), le type d'énergie, le type de véhicule, le type de motorisation.

Les différents niveaux d'intervention sont par conséquent : les mesures techniques (amélioration de l'efficacité énergétique des carburants et des véhicules, véhicules électriques, allègement du poids des véhicules, etc.), les mesures « comportementales » (éco-conduite, limitation de vitesses, management du trafic avec synchronisation des feux, report modal, etc.) et les mesures politiques (accords volontaires, définitions de standards d'émissions, différenciation des taxes, taxe carbone, marché des permis à polluer, péages routiers, etc.).

Dans ce cadre, il est nécessaire de prendre en compte les échelles temporelles et spatiales des interventions possibles et de leurs impacts sur une échelle territoriale et une temporalité

donnée. Les effets des GES étant planétaires et souvent perçus concrètement seulement à long terme par les individus, au contraire des polluants atmosphériques locaux, du bruit, de l'eau, ou des accidents de voiture, la question de l'échelle territoriale et celle des difficultés à estimer les coûts sanitaires et sociaux ; les effets sanitaires⁵² sur le long terme sont particulièrement pertinents. En effet, pour le long terme, il est nécessaire de prendre en compte l'évolution des paramètres consécutive d'une part, aux progrès technologiques, et d'autre part, à la mise en place de politiques de réduction des émissions des GES. Il est également difficile d'imputer dans le long terme les coûts et les bénéfices de telle ou telle mesure en raison des nombreux effets indirects.

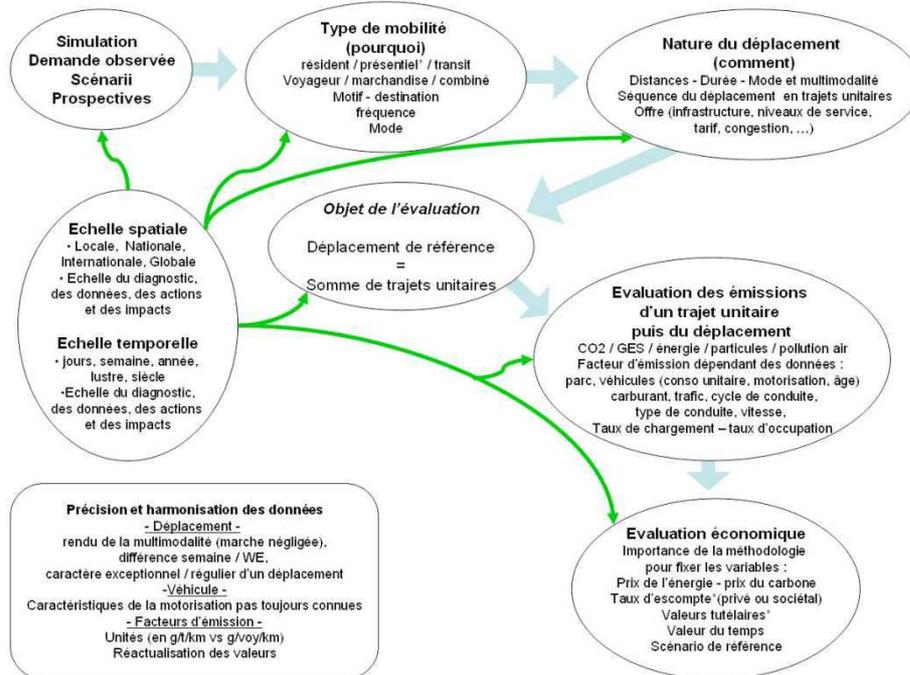
La réduction des émissions de GES est devenue un des enjeux environnementaux majeurs de notre époque, notamment par la gravité des conséquences attendues sur le climat. La France s'est engagée à participer à cet effort avec des objectifs ambitieux (Kyoto, facteur 4, jusque dans la loi sur l'énergie...), et toutes les voies possibles de réduction de gaz sont à explorer (évolutions technologiques, nouvelles réglementations, modifications des comportements, etc.). De nombreux bilans et d'études indiquent que le domaine des transports est indéniablement aujourd'hui l'un des plus préoccupants en matière d'émissions de GES, responsable de près d'un tiers des émissions de GES, part dont la croissance est très préoccupante. C'est donc l'un des secteurs pour lesquels des solutions devraient être prioritairement trouvées. Cependant, des bilans exhaustifs et précis des émissions liées aux déplacements tant par le transport de voyageurs que par le transport de marchandises sont nécessaires pour cibler des stratégies de réduction des GES et des polluants locaux tant au niveau local que national. Ces bilans permettent ensuite le développement de l'évaluation économique de ces externalités, ainsi que des mesures qui permettent de réduire ces nuisances.

Toutefois, les bilans réalisés se réfèrent souvent à des méthodologies différentes. L'objet de mes recherches⁵³ est de proposer une méthodologie harmonisée explicitant les hypothèses nécessaires au calcul des émissions et articulant à la fois la procédure de la quantification des émissions et celle de leur monétarisation. Les différentes étapes de la mesure et de l'estimation des émissions des GES sont les suivantes, et chacune s'appuie sur un certain

⁵² Dans ce cadre, pour une cohérence des analyses des externalités de la pollution, il est important de prendre des valeurs absolues des effets sanitaires de la pollution qui soient cohérentes avec les valeurs de la vie humaine calculées par ailleurs. L'estimation des effets sanitaires passent par l'identification des mécanismes par lesquels les différents polluants affectent la santé des individus (qualité de vie, morts prématurées, etc.) puis par l'imputation d'une valeur monétaire à ces effets.

⁵³ Cf. Projet « BETTI » financé par l'ADEME, et l'action spécifique impliquant plusieurs laboratoires dont j'étais responsable.

nombre d'hypothèses ou de délimitation du champ de la mesure (souvent conditionnée par la disponibilité des données) :



Un bilan environnemental en terme d'effet de serre et de polluants atmosphériques est défini par :

- un objet de l'évaluation (véhicule, trajet unitaire, déplacement, l'unité pour exprimer la mobilité)
- un niveau d'analyse (individu *vs* marché des déplacements, colis *vs* entreprise)
- une échelle d'analyse (spatiale et/ou temporelle)
- une compréhension de la chaîne causale entre émission et transports (émission CO₂ = activité * modes de transport * efficacité énergétique des modes * intensité carbone de l'énergie)
- une méthodologie de quantification des émissions (émissions à chaud ou à froid, émissions à l'arrêt ou émissions liées au roulement, prise en compte du taux de chargement, *etc.*)

C'est sur la base de ce bilan environnemental que peut être développée une évaluation économique de ces externalités, ainsi que des mesures qui permettent de réduire ces nuisances.

Evaluer les émissions de GES dans le secteur des transports suppose donc de faire le point sur :

- le recensement des parcs des véhicules de transport (nombre, caractéristiques techniques, *etc.*)⁵⁴ ;
- le recensement des trafics à prendre en compte (pour les différents modes et types de réseaux, routiers⁵⁵, ferrés, maritimes et fluviaux, voire aériens) ;
- le recueil des données de trafic existantes (comptages, enquêtes cordon, mais aussi, s'il y a lieu, modèles de génération-distribution-affectation⁵⁶ et de reconstitution des distances) ;
- la recherche des facteurs d'émission adaptés⁵⁷, à homogénéiser, en figeant les nomenclatures des caractéristiques des véhicules, entre tous les modes et les types de

⁵⁴ Encadrement de la thèse de Zéhir Kolli sur le renouvellement du parc et les lois de survie adéquates pour calculer le vieillissement du parc automobile des véhicules légers (en co-direction avec Véronique Simmonet), thèse soutenue en avril 2012 à l'Université Paris I.

⁵⁵ y compris les types d'utilitaires et de poids lourds

⁵⁶ y compris modèles de type « Freturb » permettant la reconstitution, en trafic interne, du fret routier lié à la logistique urbaine (les trafics externes étant plutôt généralement estimés à partir d'enquêtes cordon), et en mobilisant les données de « comptes » locales lorsqu'elles existent.

⁵⁷ A partir de normes et modèles fréquemment utilisés (copert3 issu de MEET, et ré-utilisé dans Impact-ADEME), ou en les actualisant avec des valeurs plus à jour, même si elles apparaissent pour l'heure moins opérationnelles (copert4 dérivé d'Artemis). Il faut par exemple tenir compte des émissions du parc roulant mais aussi des véhicules stationnés.

trafics et de réseaux, notamment quant aux unités (véhicules*km ou tonnes*km, et comptabilisation moyenne, distinguant ou non les retours à vide, etc.) ;

- et enfin, les calculs des consommations énergétiques et des émissions polluantes⁵⁸.

Dans le champ plus large de l'économie de l'espace et de la mobilité, des indicateurs économiques, sociaux ou énergétiques (ex : Diagnostic Énergie Environnement des Déplacements d'un individu ou d'un ménage) sont à élaborer et à harmoniser, et les déterminants de la mobilité sont étudiés, notamment à partir des enquêtes-ménages-déplacements locales (« Enquêtes Ménages Déplacements » (EMD) pour les grandes agglomérations de province, et « Enquête Générale Transport » (EGT) pour l'Île-de-France, toutes s'appuyant sur une méthodologie d'enquête harmonisée et définie par le CERTU [Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques] mais aussi au niveau national avec l'Enquête Nationale Transports (ENTD 2007-2008).

La méthode DEED (Diagnostic Energie Environnement des Déplacements) permet de cadrer à l'échelle de la région urbaine les consommations et les émissions de polluants et de gaz à effet de serre dues aux transports mais également de rendre compte de différenciations entre catégories d'individus et de ménages⁵⁹.

Ainsi, cette approche « DEED » (Gallez et Hivert, 1998) se différencie des méthodes d'ingénierie et d'inventaire classiques par une analyse détaillée de la relation entre l'urbanisme, la mobilité quotidienne des résidents, ses déterminants et ses impacts énergétiques et environnementaux. Elle permet notamment de répondre à des questions du type : « Qui consomme et qui pollue ? » en rapportant la dépense énergétique et les émissions aux caractéristiques socio-économiques des individus et aux localisations résidentielles. La méthode du DEM (Diagnostic Environnemental de la Mobilité) permet d'inclure les émissions relatives à la mobilité des non-résidents et des marchandises, et son développement s'appuie sur le DEED.

⁵⁸ Facteurs d'émissions adaptés et estimations finales nécessitent de poser des hypothèses lorsque les données manquent pour certains trafics (reconstitution de distances, mais aussi de vitesses...).

⁵⁹ Selon leurs caractéristiques socio-économiques (revenus, professions catégories sociales), démographiques (taille et structure des ménages) et géographiques (localisation des lieux de résidence dans les différentes zones de la région urbaines considérées), ainsi que selon la position dans le cycle de vie (sexe, âge et statut d'activité) pour les individus, telles que ces caractéristiques sont appréhendées dans les enquêtes déplacements.

Cet exemple⁶⁰ montre bien combien il est parfois difficile de séparer l'observation de l'analyse, mais surtout qu'il devient difficile de séparer les mondes humains et non-humains, même pour une opération de quantification et de mesure des émissions de GES.

Comme dans le cas de l'économétrie frischienne, le modèle qui sert à quantifier les émissions de GES et de polluants locaux est guidé par un certain nombre d'hypothèses et de relations causales définies au niveau théorique, ces dernières guidant l'observation. Le modèle agit en médiateur entre les faits empiriques et la théorie.

Les modèles de changement climatique reposent sur une compréhension des phénomènes atmosphériques mais aussi comme je viens de l'exposer sur un certain nombre d'hypothèses et d'observations sur les activités humaines, et ce dans un contexte où les émissions sont dorénavant principalement anthropomorphiques. Armatte (2005, 2007, 2008) montre combien les modèles du climat et les modèles économiques inter-agissent pour définir les scénarios du climat futur : en effet, ces réflexions sur les 'futurs plausibles et probables' portent sur l'ampleur du changement climatique qui dépend lui-même de l'accumulation des gaz à effet de serre dont les émissions sont liées à la nature et au niveau des activités humaines consommatrices d'énergie fossile. Ainsi, pour comprendre les modalités et les niveaux d'émissions passées, présentes et à venir et par conséquent en tirer les conclusions sur le climat futur, les climatologues ont besoin notamment des analyses et des prévisions des économistes sur la croissance du PIB, des analyses et des prévisions des démographes sur la taille et la répartition des populations, d'un ensemble d'analyses et de prévisions sur les comportements économiques, démographiques et sociaux des populations, *etc.* Il faut des modèles pour comprendre le forçage naturel et le forçage anthropique d'une part, et pour comprendre comment ils se combinent dans le présent et le futur. On est en présence de deux modèles, l'un pour comprendre le lien entre émissions de GES et changement climatique et l'autre pour comprendre les conséquences de ce changement climatique sur la nature et les sociétés. Le modèle peut être défini comme un outil d'intégration de savoirs hétérogènes sur un objet complexe (Armatte et Dahan, 2004).

On comprend dès lors que ce travail de compréhension du changement climatique produit une nature-culture au sens latourien, et que les hybrides qui la composent vont remettre en cause les liens entre le 'pouvoir scientifique' et le 'pouvoir politique'.

⁶⁰ Cf. annexe 2 pour une présentation synthétique des résultats de cette recherche (Dupont-Kieffer, Hivert et *al.*, 2009).

2B/ La collaboration entre le pouvoir scientifique et le pouvoir politique : un renouvellement des discours et une nécessité

L'ampleur et l'échelle des réductions des émissions de gaz à effet de serre (GES) pour atteindre le facteur 4 défini lors des accords de Kyoto (1994) faisant suite à des négociations hautement politiques, sont telles, que la définition et l'évaluation des stratégies ou des projets deviennent un élément clé de la décision et de l'action. En retour, les décisions prises, quel que soit ce niveau de décision, du local à l'international, vont être intégrés par les chercheurs travaillant sur le changement climatique et ses impacts pour redéfinir et revoir leurs scénarios de prévision et de prospective pour différents horizons temporels, du moyen terme au très long terme. Et dans une certaine mesure, les objectifs de réduction d'émission, quand ils sont pris par les chercheurs comme des états à réaliser dans le futur, deviennent un horizon « certain », ce qui permet de réduire l'incertitude tant sur les niveaux d'accumulation de GES dans l'atmosphère que la nature et l'ampleur des impacts (météorologiques, sanitaires, économiques, géopolitiques, *etc.*) du réchauffement climatique. C'est dans ce cadre que se développent les approches de '*backcasting*' ou dite à rebours à l'opposé des approches de '*forecasting*' ou prévision et de prospective.

2B1. Le changement climatique

Les économistes font face au nécessaire renouvellement de l'analyse dans le cas du changement climatique notamment pour identifier des opportunités d'action.

Penser l'effet de serre a changé les modalités de l'évaluation économique comme le souligne Guesnerie et Tulkens (2008). Dans le secteur des transports, les actions stratégiques peuvent porter une dimension globale comme dans le cas d'un Plan de Déplacements Urbains (PDU) ou dans la mise en place d'une taxe carbone au niveau national ou européen, ou prendre la forme de projets ciblés au niveau des comportements (choix modaux et types de mobilité) ou au niveau des véhicules et ces carburants (notamment des innovations technologiques portant sur la motorisation, la récupération de l'énergie du freinage ou le potentiel énergétique des carburants), des infrastructures (adhérence des chaussées par exemple), des niveaux et types des services de transports (information en continu, éducation, initiation à l'éco-conduite).

Les enjeux et les impacts du transport routier ont pris une nouvelle dimension au-delà de sa contribution à la croissance économique et de ses conséquences en termes de sécurité routière sur le capital humain. Ainsi, la compréhension des performances du système

de mobilité est aujourd'hui placée de plus en plus sous l'angle des impératifs du développement durable. Les évaluations économiques portant sur la mobilité et la demande routière doivent dorénavant intégrer une analyse relative à l'insécurité routière, une analyse des performances du système routier sur la croissance économique et une analyse des conséquences des performances du système de mobilité sur l'environnement. La prise en compte des émissions de GES du système des transports, et notamment celui du transport routier, a changé la perspective et la manière de considérer les externalités. En effet, ce changement est le fait du degré d'incertitude qui pèse sur l'ampleur des impacts de l'effet de serre ainsi que l'échelle mondiale, comme le souligne Gollier (2001), et la perspective temporelle longue qu'impliquent l'externalité « réchauffement climatique lié à l'effet de serre ».

L'évaluation économique et monétaire de ces externalités en termes d'émissions de polluants du système de transport devient un élément clé de la définition de stratégies à mettre en oeuvre pour réduire ces externalités sur l'environnement et sur le capital humain. Ces stratégies doivent elles-mêmes faire l'objet d'une évaluation économique afin d'identifier les mesures les plus efficaces et afin de ne pas s'engager dans des mesures aux coûts exorbitants ou pouvant conduire à une très forte baisse du bien-être social (Stern, 2007 ; Pizer, 2008 ; Weitzman, 2008).

Cette interrogation s'articule autour de deux questionnements, une fois assuré que l'on puisse mesurer et quantifier les émissions de polluants atmosphériques liés au transport routier et leurs impacts sur l'environnement et la santé :

1. l'évaluation économique elle-même des externalités de transport : comment réaliser l'évaluation économique d'un bilan environnemental au niveau local et/ou national? Sur la base de ces bilans, comment peut-on en dériver des coûts environnementaux qui pourront être intégrés au calcul du surplus du consommateur et au calcul des variations du surplus social ? Comment l'impératif de réduire la pollution atmosphérique et la réduction des GES modifie-t-elle l'approche coût-avantage? L'analyse coût-avantage est-elle toujours adaptée ? Ne faut-il pas lui substituer d'autres approches, notamment une approche des coûts en fonction des objectifs à atteindre ? Ces questions sont au cœur du débat qui opposa Sir Nicholas Stern (2007) à Martin Weitzman (2007, 2008) et des préoccupations de Nordhaus (2008).
2. le rôle de l'évaluation économique dans la définition et l'évaluation des politiques de transport notamment au regard de la prise en compte de l'incertain et de l'interaction des différentes échelles spatiales et temporelles ? Comment l'analyse du coût

environnemental peut participer à la prise de décision en matière de transport, sachant que la composante environnementale ne représente qu'une partie des objectifs d'un plan de déplacement ou d'un projet routier ? Comment les politiques locales de transport ou les mesures ciblées au transport routier s'articulent-elles avec les objectifs nationaux et internationaux en matière de réduction des émissions de GES ? Comment la politique des transports s'intègre-t-elle à une politique intersectorielle des réductions des GES ?

La monétarisation des externalités est en elle-même un challenge pour les économistes, notamment pour mettre en place une internalisation de ces coûts ou calculer des indemnités comme dans le champ du transport routier (accidents, bruit, pollution locale auprès des grands axes). L'évaluation économique d'un projet transport diffère selon que l'objectif affiché est celui de la réduction des émissions de GES à un certain niveau, ou bien la réduction de tous les polluants atmosphériques ou bien la réduction de l'ensemble des externalités négatives d'un projet transport (véhicule, infrastructure, plan de déplacement) pour l'environnement et le capital humain.

Comme nous l'indiquent les formules mentionnées ci-dessus, le calcul d'évitement de l'externalité "émissions de GES" se heurte à de nombreuses difficultés qui incitent à repenser le cadre dans lequel peuvent être évaluées l'ensemble des externalités de la route :

1. Choix du taux d'escompte pertinent. La pratique commune est d'adopter une définition du coût social pour le réchauffement climatique, ce qui implique d'une part d'exclure les taxes mais surtout d'escompter les coûts et bénéfices futurs à un taux de 4 ou 5 %. Plusieurs objections ont été avancées : les entreprises qui investissent dans les énergies propres calculent leurs profits futurs sur la base de prix incluant les taxes, les usagers des transports sont sensibles au prix final du transport et déterminent leur comportement de mobilité en fonction de ce dernier, et, enfin, les taxes du secteur transport (sauf pour le mode aérien) sont si élevées comparativement à d'autres secteurs que l'on ne peut pas trouver que le coût efficacité du point de vue collectif rejoint celui de l'individu. L'autre débat, notamment entre Stern (2007), Weitzman (2007, 2008) et Pizer (2002, 2008), porte sur le niveau du taux qui doit rendre compte des dommages futurs engendrés par les comportements présents. L'approche sociale reste privilégiée au détriment de celle de l'individu car dans le cas de l'effet de serre, l'enjeu collectif prime sur celui des investissements privés

(contre la position de Lutsey, 2008) tant pour le secteur transport que pour l'ensemble de l'économie.

2. Choix du prix du pétrole de référence et de sa dynamique. C'est notamment le caractère irréversible de la consommation de pétrole par le secteur transport (effet de serre et raréfaction des énergies fossiles) qui rend si primordial de déterminer le bon signal prix afin de bien orienter les comportements de consommation et d'investissement. Le débat se situe dès lors à deux niveaux : 1/ comprendre la dynamique temporelle du prix des énergies fossiles (surtout le pétrole, mais également le charbon) et fixer l'horizon de l'épuisement des stocks de cette ressource rare et épuisable ; 2/ comprendre dans quelle mesure les prix du pétrole, mais aussi des nouvelles énergies, influencent le marché des transports (élasticité de la demande, mais également de l'offre). Le transport doit faire face à deux effets irréversibles liés à la consommation de pétrole, d'une part les émissions de gaz à effet de serre, et d'autre part la raréfaction de sa principale source d'énergie. Dès lors quel prix du pétrole doit-on prendre en considération en dynamique ? En effet, le prix de cette énergie est très fluctuant et dépend de déterminants qui ne sont pas uniquement économiques (lois de marché), mais également géopolitiques. De plus, comme le souligne le rapport Boiteux 2⁶¹ (2001), le pétrole est une ressource limitée et non reproductible et de ce fait la règle d'Hotelling⁶² (1931) devrait s'appliquer. Toutefois, selon l'horizon temporel fixé pour l'épuisement de cette énergie fossile, 30 ou 80 ans, la règle s'appliquera ou non. En effet, à l'horizon 80 ou 100 ans, le pétrole n'apparaît pas aux yeux des consommateurs comme une ressource finie quelque soit les scénarios retenus (IEA, 2008). Il faut également rappeler que le prix du pétrole dépend non seulement de son potentiel énergétique (transports, logement) mais également de son potentiel chimique (pharmacie, pétrochimie). Le prix de la tonne carbone doit prendre en compte l'effet d'inertie de l'effet de serre additionnel; et les incertitudes liées aux mécanismes d'impact entre transport, effet de serre et mesures

⁶¹ Le rapport Boiteux 2 (Boiteux et Baumstark, 2001) porte notamment sur la définition des valeurs tutélaires. Il est une illustration de la négociation entre représentants du pouvoir scientifique et représentants du pouvoir politique.

⁶² L'idée développée par Hotelling (1931) est d'appliquer le calcul à la marge (variations à la marge) à un problème d'allocation un stock déterminé et fixé dans le temps. Il en ressort qu'il identifie l'existence d'une rente associée à la rareté, puisque la consommation d'aujourd'hui empêche celle de demain. Le taux de croissance du prix de la ressource rare et épuisable est alors compris comme un taux de rendement du capital naturel, et ce taux de croissance doit suivre un sentier optimal d'exploitation. Le problème est de fixer le prix initial optimal dont dépendra la trajectoire temporelle du prix. Les études empiriques montrent que souvent les prix des ressources rares non renouvelables croissent à un taux inférieur à celui du taux d'intérêt.

de réduction. Cette prise en compte de l'irréversibilité de l'épuisement des énergies fossiles et des émissions de gaz carbonique doit conduire à valoriser (une valeur d'option positive) toute mesure qui permet d'accroître les marges de manœuvre dans l'avenir. A cela s'ajoute une prime de risque, liée à l'incertitude qui rend inconstant dans le temps le coût externe des émissions des gaz à effet de serre. Déterminer le montant de la prime de risque à inclure dans le prix de la tonne carbone revient à déterminer une règle d'évaluation des coûts externes liés à l'effet de serre additionnel ; et c'est bien là la difficulté de l'exercice puisque l'exercice devient récursif (Nordhaus, 2008).

3. Quantification physique et monétarisation des effets indirects de la mesure considérée. Il s'agit d'explicitier si la démarche d'évaluation veut et peut estimer les bénéfiques et les coûts secondaires d'un projet et si les auteurs sont en mesure de pondérer les impacts relatifs, et ce en dynamique, de la réduction des externalités négatives du transport routier, notamment (Hubert, 2004) Cette ambition suppose le développement d'enquête de mobilité et de suivi des émissions en continu.
4. Quelle perspective adopter ? Celle de l'utilisateur final ou celle de la société ? Quelle est la plus pertinente pour intégrer l'incertitude dans l'analyse ? La plus pertinente pour la politique des transports puisque l'acteur clé du transport reste l'utilisateur ? Le taux d'escompte ne sera pas le même pouvant varier de 20% dans le premier cas contre 4 ou 5% dans le second cas (Hubert, 2004 ; AEA, 2001). La question reste posée d'autant plus qu'un marché des permis peut être mis en place, que le consommateur peut chercher à valoriser l'ensemble des gains futurs en termes de temps et de sécurité, de qualité de l'air induits par un projet de transport durable.
5. La forte sensibilité des résultats des calculs de coûts d'évitement aux variations même infimes des données du modèle. C'est pourquoi les données et valeurs utilisées doivent être clairement explicitées et revues régulièrement pour prendre en compte la dynamique de prix, les découvertes sur les effets rebonds et les combinaisons entre les effets externes du transport (TNO, 2006 ; McKinsey Co, 2009).
6. Quelle portée pour l'évaluation du projet ? Juste l'impact de la mesure en termes de réduction des émissions de GES lors d'un déplacement ou prendre en compte tout le cycle de vie du projet ? (INFRAS, 2006 ; TNO, 2006).

7. Quel horizon temporel pour tenir compte de l'épuisement des énergies fossiles (et de son impact sur les prix), du changement climatique et de ses impacts discontinus dans le temps ? (IEA, 2008).
8. Evaluations *Ex ante* vs. *ex post*. De nombreuses études (notamment CE 2006, CE 2007, IVM 2006 ou TME 2006) ont montré que les évaluations *ex ante* avaient tendance à surévaluer les coûts d'un facteur allant de 2 à 6. Il est important de montrer ces différences notamment dans le secteur des transports où les responsables politiques pensent que les coûts d'évitement sont assez élevés comparativement à d'autres secteurs.
9. Définition du scénario (ou situation) de référence, notamment lorsqu'est envisagé de combiner des projets technologiques et des projets cherchant à modifier les comportements (de l'éco-conduite au choix modal en passant par l'aménagement du territoire). La question est de savoir si on choisit comme référence « ne rien faire » ou « faire à *minima* », et dans ce cas, que recouvrent ces actions à *minima* (OCDE, 2013).

La difficulté connexe est d'identifier, sur la base et en référence à un scénario de base, les trajectoires de développement des stratégies mises en place et leurs impacts, notamment les effets rebonds et les interactions comme, par exemple, l'impact de la réduction des vitesses sur les émissions mais également sur la congestion et sur la sécurité routière (tant sur la fréquence des accidents que sur leur gravité). Les réflexions stratégiques en matière de transport durable poussent à définir différents critères pour développer une approche plus intégrée de l'évaluation des bénéfices et des coûts de la mobilité.

Les négociations entre représentants du pouvoir politique et représentants du pouvoir naturel, experts et scientifiques portent sur deux aspects maintenant joints :

- la définition des critères appuyant les réflexions stratégiques ; on peut citer les négociations sur le taux d'escompte acceptable socialement et politiquement à prendre en compte pour les évaluations *ex ante* des projets visant à réduire les émissions de GES. Les décisions des politiques s'appuient sur les expertises des scientifiques mais en retour ces derniers sont amenés à intégrer des décisions 'politiques' dans leur travail. Les frontières deviennent floues entre les discours et les compétences (OCDE, 2008 et 2013).

- la définition des scénarios de référence et des scénarios d'évolution des niveaux d'émission ; on peut citer les négociations au niveau international comme le protocole de Kyoto et les différents COP (*Conferences of Parties*) mais aussi au niveau national comme les négociations du Grenelle de l'environnement sur les réductions imposées aux différents secteurs et les différentes stratégies à adopter. Ces lieux de négociation réunissent des représentants des citoyens et de l'Etat qui sont entourés, lors de leurs débats, de représentants des organisations internationales, d'experts, de représentants des ONG et de la presse qui sont supposées garantir la transparence des procédures.

Les fruits de ces négociations (échecs et succès) sont des hybrides révélateurs à double titre de la fin de cette séparation entre « nature » et « société ». D'une part, la compréhension de l'effet de serre et du changement climatique nécessite d'intriquer les sciences dites dures et les sciences dites molles, des éléments d'expertise et des éléments de choix politique. D'autre part, les négociations vont influencer, selon les pays et leur volonté d'implication, les niveaux de flux de GES dans l'atmosphère agissant sur le stock qui sera à l'origine de l'effet de serre et de l'ampleur du changement climatique futurs. Elles vont donc modifier l'objet d'études du scientifique.

Frisch avait conscience de ces interactions et effets de rétroaction à l'œuvre. On comprend son insistance pour définir une méthodologie pour guider le travail des responsables politiques et des experts dans la définition et la conduite de la politique.

2B2. Un hybride évident : Les femmes entre sexe et genre

Les hybrides découlent du besoin croissant de l'interdisciplinarité requise pour saisir la complexité du monde, notamment dans un cadre de renoncement à un cadre mécaniste et déterministe mais sans renoncement à une démarche heuristique fondée sur la mesure. Un concept intéressant pour notre histoire est celui de « genre ». En effet, celui-ci est un construit et chaque champ disciplinaire en propose une définition. Or, pour en saisir toute la complexité il faut justement développer une approche multi-disciplinaire. Ce concept est un point d'entrée qui permet de renouveler tant les analyses que les politiques de transport ou les politiques économiques et sociales. Ce concept est à la fois représentatif de la fin de la dichotomie entre objet et sujet mais aussi de la fin de la dichotomie entre pouvoir scientifique et pouvoir politique.

Le thème de recherche qui constitue depuis 2009 un axe majeur de mon programme de recherches pour les prochaines années relie les questions de transport (mobilité, leviers pour une mobilité avec un système de transports moins émetteurs de gaz à effets de serre) et les questions de genre et de sexe. Les questions sont nombreuses : dans quelle mesure ces facteurs agissent-ils comme déterminant de la mobilité et, si oui, dans quelle mesure et avec quelle interaction avec d'autres déterminants sociologiques, démographiques, économiques, géographiques ? En quoi ces facteurs conditionnent et déterminent des usages différenciés, inappropriés, adaptés ou non du système de transport ? Il s'agit d'approfondir la compréhension de la position des femmes dans le système "transport" non seulement en tant que sujets passifs mais aussi comme actrices qui peuvent, en tant qu'usagers et en tant qu'opératrices du transport, influencer et promouvoir une accessibilité durable, une mobilité sûre, une politique de développement, la gouvernance et les procédures de contrôle, la production de services et participer au développement des entreprises dans le secteur du transport. Dans le domaine des études sur le genre, la participation des femmes dans la conception et la mise en œuvre de politiques de transport, la part des femmes dans les entreprises du secteur du transport ont peu fait l'objet d'investigations. Bien entendu, la situation socio-économique des femmes varie largement d'un pays et d'une région à l'autre, en particulier en ce qui concerne la capacité financière, les types d'activités et de déplacements et les besoins particuliers. Elle conditionne leurs types de déplacement et les modalités de leur mobilité. Une compréhension approfondie des déplacements et de leurs déterminants est indispensable au développement de politiques répondant à la problématique « homme-femme ».

Les questions qui animent mes recherches sur « femmes et transport » sont principalement celle de la connaissance d'une part, de l'interaction entre le genre et le sexe comme déterminants prépondérants de la mobilité et du choix modal (cf. Dupont-Kieffer, Hivert et *al.*, 2009 et Dupont et Krakutovski, 2012 et articles à venir avec Kolli, Dupont-Kieffer, et Hivert, 2014 et Dupont-Kieffer et Shiftan, 2014), et d'autre part, celle de la possibilité et de la manière dont le sexe et le genre définissent des usages et des besoins différenciés des systèmes de transport (Plessis-Fraissard, et Dupont-Kieffer, 2014)⁶³.

⁶³ Articles soumis et acceptés

Dupont-Kieffer, A., et M. Plessis-Fraissard. 2014. 10 Years of Mainstreaming Gender in Transportation in Developing Countries: What Real Impact: is this a time for hope or despair? Article à paraître dans les *Actes de la 5ème conférence internationale sur Femmes et Transport*, 14-16 avril 2014.

Dupont-Kieffer, A., et Y. Shiftan. 2014. Mobility patterns regarding gender in large cities: a comparison between the Parisian Region and Tel-Aviv. Article à paraître dans les *Actes de la 5ème conférence internationale sur Femmes et Transport*, 14-16 avril 2014.

Les questions de sexe et du genre sont prégantes dans le champ du transport depuis plusieurs décennies, notamment sur les questions de sécurité routière, et plus particulièrement sur le niveau d'adaptation au corps féminin des véhicules à la conduite et à la protection adéquate contre l'exposition au risque routier⁶⁴ et sur l'influence du rôle social et familial sur l'exposition au risque routier et sur les types d'accidents dans lesquels les hommes et les femmes sont impliqués, les types de blessures auxquels ils sont confrontés, les conséquences des transports sur leur santé et leur bien-être, leurs attitudes et comportements concernant la sécurité et la sûreté dans les transports.

Ces questions de recherche s'articulent pour moi autour d'une hybridation. En effet, les différentes théories récentes sur les femmes ont bien tenté de séparer ce qui relevait du sexe donc de la « nature » et de l'inné et ce qui relevait « genre » donc du rapport social et culturel. On aurait ainsi deux objets d'étude distincts : le corps de la femme et le comportement social de la femme, sachant que certains courants du genre, comme les travaux de Judith Butler, nient la dimension biologique. Le travail de séparation des concepts « sexe » et « genre » s'est construit depuis la « modernité » et le siècle des Lumières avec l'imposition d'une partition-séparation entre deux groupes d'êtres humains (Bereni, Chauvin, Jaunait, Revillard, 2008, chapitre 2). Les femmes et les mâles étaient pensés encore au Moyen-Age comme un continuum d'un même corps et d'un même être connaissant des développements physiques différents. Depuis le siècle des Lumières, on voit s'opérer un premier travail de séparation autour de la définition des éléments physiologiques, biologiques, psychiques qui vont caractériser l'être féminin. Mais ce travail s'est heurté à de nombreuses pierres d'achoppement (taille, gène et ADN). Le travail de séparation s'est ensuite porté sur les fonctions différenciées entre hommes et femmes pour montrer en quoi la place et le rôle de la femme dans la société conditionnent et même déterminent leur identité de femmes (Bereni, Chauvin, Jaunait, Revillard, 2008, chapitre 2 ; Héritier, 1996, 2002).

Kolli Z., Dupont-Kieffer A. et L. Hivert. 2014. *The influence of gender in car use and ownership in France*. Article à paraître dans les *Actes de la 5ème conférence internationale sur Femmes et Transport*, 14-16 avril 2014.

⁶⁴ Dans le premier cas, il s'agit dans le cas de l'adaptation du poste de conduite notamment des poids lourds et des bus à la morphologie des femmes (distance entre le siège et le pédalier). Dans le second cas, on peut citer à titre d'exemple la nécessité d'adapter la ceinture de sécurité pour les femmes enceintes ou bien de renforcer l'habitacle au niveau des jambes pour les femmes car pour un choc de même nature et de même force, elles souffrent de blessures plus graves aux jambes que les hommes du fait d'une plus grande fragilité osseuse liée notamment à l'ostéoporose.

La recherche sur les femmes délaisse de plus en plus les questions de « sexe », sauf en médecine, pour se concentrer sur les questions de « genre ». Le terme, importé et mal traduit des recherches menées aux Etats-Unis, revêt un ensemble de concepts et le concept peut sembler fourre-tout tant il recouvre de théories et d'approches. Le terme « genre » est utilisé pour imposer l'idée d'une neutralité et la possibilité d'incarner la notion d'être humain sans hiérarchie entre les êtres, notamment féminins et masculins. En effet, la vision et la représentation de l'être humain, particulièrement depuis les « modernes », a été andro-centrée puisque l'être humain est désigné par le terme « Homme », faisant alors de la femme une déviation de l'homme et établissant ainsi une hiérarchie implicite. Agacinski dresse tout d'abord le constat suivant :

« L'histoire des sociétés et des cultures humaines ne s'explique pas non plus simplement par des propriétés biologiques, mais elle ne flotte pas non plus simplement au-dessus d'elles comme si les corps humains n'étaient pas aussi des corps vivants. L'acharnement que certains mettent aujourd'hui à vouloir exclure a priori toute relation entre la vie et la culture relève d'un obscurantisme, d'inspiration théologique, qui place l'homme en dehors et au-dessus de la nature, et la culture dans une position quasi-transcendantale » (Agacinski, 2012, 13).

Elle n'explique pas le travail de séparation entre « sexe » et « genre » comme s'intégrant dans la démarche initiée par les « modernes ». On est loin de l'analyse des travaux de purification décrit par Bruno Latour. Leur explication de cet « acharnement » à séparer les concepts est diamétralement opposée : « théologique » ou « culturelle »⁶⁵ pour la première et « moderne » pour le second. Toutefois, l'analyse avancée par Sylviane Agacinski pour comprendre les différences et les interdépendances entre « sexe » et « genre » permet de voir comment le phénomène d'hybridation est à l'œuvre sur les questions des femmes.

Ainsi, je suis Sylviane Agacinski (2012) qui montre qu'il ne peut y avoir de dichotomie entre « sexe » et « genre » ou « rapports sociaux de sexe » (Agacinski, 2012, 8) car, en effet :

« si l'on ne tient pas compte de la différence sexuelle, donc du pouvoir propre des femmes (enfantement), on ne peut pas saisir les modes d'appropriation dont elles ont été ou font encore l'objet » (Agacinski, 2012, 10).

⁶⁵ Elle rappelle que les corps vivants sont les grands absents du culturalisme qui « prétend absorber la nature dans les constructions intellectuelles » (Agacinski, 2012, 15).

Il est important de garder les « femmes » comme catégorie opératoire dans la démarche de connaissance comme le montre Joan Scott (1986 réédité In 2012, 14-54) dans le champ de l'histoire puisque :

« les études sur les femmes feraient non seulement émerger des sujets nouveaux, mais imposeraient également un réexamen critique des prémisses et des standards de la recherche universitaire » (Scott, 2012, 19).

Ce point d'entrée à partir des « femmes » permet de revoir le développement des institutions à partir des relations de pouvoir et non l'inverse. Les travaux des anthropologues comme Françoise Héritier (1996, 2002) ou des historiennes comme Michèle Perrot (1998) montrent que le « genre » ou le « rapport social de sexe » ne transcende en rien les autres catégories explicatives avec lesquelles il entre toujours en composition. Mais ces analyses pour être fructueuses doivent bien avoir en tête que les rapports sociaux de sexe se fondent justement sur une appropriation des corps féminins pour leurs dispositions sexuelles précisément (l'enfantement et la reproduction). Ces rapports d'appropriation qui déterminent le « genre » sont marqués historiquement, géographiquement et culturellement, et ce relativement au statut d'épouse et de mère que les femmes tiennent dans les différentes sociétés, statut lié à leur capacité d'enfanter. Cette contextualisation peut expliquer que le concept de « genre » soit si flou comme le souligne Agacinski :

« Le concept de genre présente cependant l'inconvénient d'avoir cristallisé et comme fétichisé, en les rassemblant sous un seul vocable, un ensemble très divers de significations du masculin et du féminin (statut, rôle, valeur, attributs physiques, psychologiques, intellectuels, moraux de sorte qu'elles semblent former une 'identité de genre' » (Agacinski, 2012, 45)

Bien qu'elle reconnaisse que ce « clivage entre le 'biologique' et le 'culturel' ou le 'social' est artificiel » et « qu'« opposer le culturel au biologique c'est fabriquer l'un et l'autre, alors qu'ils ne sont jamais donnés séparément » (Agacinski, 2012, 45), elle n'y voit pas « l'hybridation » au sens latourien, inhérente au concept de femme qui est à la fois sexe et rapport social. Scott (2012, 12) montre qu'« en renvoyant ces intérêts [l'exploitation économique, l'autorité politique, la conquête impériale, les intérêts d'Etat, de race ou d'origine ethnique] au genre (littéralement ou métaphoriquement), les hiérarchies et les inégalités sont naturalisées ; on finit par croire qu'elles sont de l'ordre la nature ».

Pour reprendre une analyse très latourienne, la « modernité » a tenté de séparer le sexe du genre. Or, dénaturiser le genre est impossible puisque le sexe conditionne la construction du rapport social. Comme le rappelle Scott (2012, 18), le concept de genre a été introduit par les féministes anglo-saxonnes pour montrer que la distinction entre les sexes porte en elle une forte dimension sociale.

Notre recherche tentera de montrer comment dans le champ de l'économie des transports mais aussi dans la pratique de la politique des transports, ce processus de séparation a été à l'œuvre et qu'elles en ont été les modalités selon des temporalités et des lieux différents. Cette compréhension du processus de naturalisation et d'objectivation de la séparation hommes/femmes est un marche-pied pour mieux saisir les besoins et les déterminants différenciés (ou non) des hommes et des femmes en matière de mobilité et de transport, à la fois comme usager et comme opérateur du transport.

L'anthropologie de Latour (1997) permet de comprendre les processus à l'œuvre dans la modernité et m'aide à montrer combien les hybrides sont inhérents à l'incapacité à séparer l'homme de la nature et qu'ils ne peuvent être saisis qu'à l'aide de trajectoires continues faites de discontinuités (Latour, 2012). Mais elle ne permet pas de penser la complexité du paradigme de la nature humaine pour reprendre la terminologie de Morin(1973). Malgré les longs développements sur les modes d'existence et le raisonnement en réseaux, Latour n'offre pas les clés pour penser et définir les modalités de l'interaction :

1/ entre les disciplines scientifiques et les conditions de restauration du dialogue pour un monde scientifique encore trop fragmentaire et

2/ entre les scientifiques, les experts, les politiques et la société civile dans un monde à la fois fragmenté avec l'essor du régional et globalisé avec la mondialisation des échanges mais aussi des enjeux sociaux et environnementaux.

Il faut certainement davantage, et sur mes thématiques de la mobilité et des modèles de transport, explorer la brèche ouverte par Morin, il y a 40 ans, de la fin de « l'unité de l'homme », et interroger davantage « le champ proprement anthropologique dans les interactions, les interférences et l'activité phénoménale (praxis) entre quatre pôles systématiquement complémentaires, concurrents, antagonistes : le système génétique (...), le cerveau (...), le système socio-culturel (...), l'écosystème (...) » (Morin, 1973, 212).

Conclusion

Perspectives de recherche

Ce travail de synthèse a tenté d'explorer le concept latourien d' « hybridation » tel qu'il résulte d'opérations successives de « séparation » et de « traduction » entre le pôle de la « nature » et de la « culture ». J'ai appuyé d'une part mon analyse sur une relecture de l'économétrie frischienne, et d'autre part sur des exemples pris dans les champs du transport et du changement climatique. Ces exemples ont tenté de montrer en premier lieu comment se déploie une hybridation au niveau heuristique, c'est-à-dire comment, malgré des tentatives de naturalisation, une certaine démarche de connaissance sur l'humain marque la fin de la dichotomie entre le monde des choses ou le monde naturel et le monde des humains ou le monde social. Le premier chapitre a mis en lumière l'hypothèse selon laquelle le projet de Frisch apparaissait de prime abord comme un travail de séparation entre le pôle de la nature et le pôle de la société, notamment par la mise en place d'une interdépendance entre mathématiques, théorie économique et statistiques, et le développement de la méthodologie de la confluence comme méthodologie d'expérimentation. Or, ces dernières butent sur la tension et les limites inhérentes à l'objectivation de l'humain. En effet, une vision mécanique, objectivée et universelle des phénomènes économiques se heurte à l'immanence des sociétés humaines, même si le modèle structurel- qui est le moyen de la « traduction » entre les deux pôles- cela doit permettre de faire cohabiter en son sein des éléments de permanence et des éléments de contingence. C'est cette cohabitation illustre le caractère hybride de l'économétrie. Ce caractère est encore plus apparent sur les questions de la mobilité et du changement climatique, avec notamment les modèles âge-cohorte utilisés pour les projections de mobilité et de motorisation d'un territoire ou les modèles définis et utilisés pour mesurer les émissions de gaz à effet de serre du secteur transport. L' « intrication » entre plusieurs disciplines n'est que le reflet de l'incapacité à séparer les pôles de la nature et de la société, notamment sur les questions d'interaction entre l'homme et son environnement.

Cette première analyse a été complétée par la compréhension de l' « hybridation » au niveau politique. J'ai tenté de décoder les raisons, les modalités et les enjeux de la fin de la dichotomie entre le pouvoir politique, représentatif du pôle de la société, et le pouvoir naturel, représentatif du pôle de la nature. Cette seconde hybridation est la résultante même de la tentative de séparation -et relativement de son échec- décrite tant pour l'économétrie

frischienne que pour la mesure de la contribution du secteur du transport au changement climatique. En effet, l'objectivation des phénomènes touchant à l'économie et au transport, permet au scientifique de penser qu'il est assez en distance avec son objet pour devenir un sujet agissant sur le monde qu'il construit en l'étudiant. Son statut et son rôle changent puisqu'il passe d'une position de « scientifique » à celle de l' « expert » ou de l' « ingénieur » suivant ainsi une des évaluations de la profession des économistes depuis la Seconde Guerre Mondiale tant en Norvège, qu'aux Etats-unis ou en France (Bernstein, 2001 ; Desrosières, 2001 ; Lie, 1995 ; Boettke et Horwitz, 2005). Le travail de l'expert est alors au cœur du travail de « traduction » défini par Latour. Ce travail de « traduction » permet la définition, la conduite puis l'évaluation des politiques – dans les cas abordés dans ce texte- il s'agit de politiques de stabilisation économique, de transport et de lutte contre le changement climatique. La « traduction », comme Frisch lui-même le spécifie lors de la définition de la politique économique⁶⁶ suppose un certain nombre d'allers et retours entre le « savant » et le « politique », souvent médiatisés par l'expert. Ces allers et retours génèrent des hybrides, souvent présentés comme des « boîtes noires » et apparentés au fruit d'un travail d'ingénierie (Desrosières, 2001 ; Medema, 2005). L'expert ou l'ingénieur est souvent apparenté à une figure extérieure à la fois au pôle de la nature et au pôle de la société : une figure dont le travail semble obscur tant aux yeux des scientifiques qu'aux yeux des décideurs de secteur public ou privé (par exemple peu d'interrogations sur la collecte et la production des données et les méta-données, ou peu de questionnements sur les hypothèses sous-jacentes des calculs des coûts d'évitement de certaines mesures techniques ou comportementales pour réduire les émissions de GES, comme la dynamique du prix du pétrole, la dynamique des mobilités ou le taux d'escompte). L'enjeu des années à venir est de définir les conditions de production de ces hybrides : 1/définir les objets de la négociation et de la « traduction », et les participants à ces opérations, 2/ formaliser les règles et les procédures qui aménagent et conditionnent ces négociations, bornant ainsi les rôles de chacun des acteurs de chacune de ces négociations. Le « débat public » marque déjà une avancée dans l'analyse des modalités et de la nature de la participation des différents acteurs, notamment du 'public' aux processus décisionnels (Blondiaux et Fourniau, 2011). Cette recherche constitue un pas en avant pour généraliser la prise de conscience de la définition de la formalisation de ces conditions de réalisation de la « traduction », au niveau des collectivités locales, des nations et des instances internationales. Ce renouvellement et cet encadrement nécessaires des opérations de traduction permettront de

⁶⁶ ou comme le montrent Armatte (2005, 2007, 2008), Armatte et Dahan (2004) dans le champ du changement climatique, et Armatte (1995), Desrosières (2001) Morgan (2003), Medema (2005) pour l'histoire de l'économie

mieux comprendre la nature des hybrides- clés pour la mise en place des politiques en faveur de la croissance verte et équitable, tout en garantissant leur validité et leur champ de pertinence.

Cette réflexion est indissociable d'une autre réflexion, celle portant sur le travail de « séparation » opérés par les scientifiques : il faut à la fois penser la nécessaire approche multi-disciplinaire qu'impose la complexité des phénomènes tels que le transport, le changement climatique, la troisième révolution industrielle, un développement durable et équitable (Rifkin, 2012) et identifier les discontinuités implicites de toute recherche et le fil des différents enchaînements possibles entre les méthodologies et les résultats de recherche, comme le souligne Latour (2012). La multi-disciplinarité présente un ensemble de défis, notamment et en premier celui de trouver un langage commun et des méthodologies compatibles, voire communes aux différentes disciplines mobilisées. Il s'agit donc de comprendre les conditions de production de ces hybrides heuristiques, et, pour rester dans le cadre latourien, de tracer les réseaux et les trajectoires de recherche pour saisir la manière dont les scientifiques produisent « une continuité par le truchement de discontinuités et de continuités » (Latour, 2012, 53).

Dorénavant, je souhaite explorer la compréhension de ces « hybrides » notamment au niveau heuristique en retraçant une histoire de modèles développés en économie du transport pour mettre en lumière les différentes étapes de leur construction et les transferts de concepts et de pratiques entre le champ du transport et de la mobilité et d'autres disciplines, notamment la mécanique et la physique. Le champ et la variété des modèles est très vaste, depuis les travaux de Jules Dupuit jusqu'aux travaux de Mc Fadden. Je me concentrerai sur les modèles économétriques de demande de transport (et non de réseau), et plus spécifiquement sur les modèles de trafic ou modèles dits « quatre étapes » (Génération, Distribution, Choix Modal, Affectation), pour comprendre la nature et la place des éléments de la théorie économique mobilisés au cours des différentes étapes de la construction de ces modèles, notamment lors de l'étape du choix modal (définitions des fonctions d'utilité, choix de la valeur du temps, rôle des élasticités, estimation des taux de substitution, calcul du surplus individuel et collectif, *etc.*) et sur les modèles d'activité qui élargissent la perspective en exploitant le fait que la demande de transport soit une demande générée par un ensemble d'activités économiques et sociales .

Cette investigation sera prolongée par une meilleure compréhension des interactions nécessaires entre le « savant » et le « politique » dans le champ du transport et de la mobilité

en creusant les enjeux du ‘transport équitable’ tel que les hommes politiques et les opérateurs des systèmes de transport souhaitent le voir se développer. Cette recherche demande à être conduite autour de plusieurs questions : 1 / la définition même de la notion d’équité dans le champ du transport en faisant le lien entre les différentes définitions proposées par la philosophie, les définitions adoptées en économie de la santé, en économie de l’éducation et économie du développement et les approches développées en transport autour de la notion d’accessibilité (Martens, 2011) ; 2/ développer des indicateurs pour ‘mesurer’ cette équité dans ses différentes dimensions (verticale fondée sur des critères démographiques, horizontale fondée sur des critères socio-économiques, spatiale fondée sur des critères territoriaux) 3/ penser la combinaison de l’équité horizontale, l’équité verticale et l’équité spatiale en identifiant les contradictions qui peuvent apparaître entre les trois dimensions de l’équité et de l’exclusion sociale (Levitas *et al*, 2007) et 4/ articuler le transport équitable à d’autres impératifs comme le respect de l’environnement, la préservation du capital en diminuant le risque routier, réduire la congestion, penser un système de mobilité des passagers et des marchandises à même de soutenir la croissance verte.

Pour mettre en perspective et éclairer cette analyse de travail d’hybridation heuristique et politique, tel qu’il se joue autour des questions relatives au transport durable et équitable, je souhaite poursuivre mes recherches en histoire de l’économétrie, et plus précisément poursuivre la compréhension de l’œuvre de Frisch. Je voudrais comprendre comment il déclina cette double hybridation, heuristique et politique, dans le contexte de l’après-guerre et des trente glorieuses. Il faudra alors se pencher plus précisément sur l’économétrie que Frisch a déployée après la Seconde Guerre Mondiale, notamment par le développement de modèles à des fins de politique économique, et dans une perspective de développement économique, soit en Norvège, soit en Inde ou en Egypte. Je souhaite non seulement me pencher sur les éléments de théorie économique alors mobilisés et les formalismes développés lors de ces modèles mais également rentrer les procédures définies par Frisch, en théorie et en pratique, pour saisir la réalité de la méthodologie et des procédures de l’interaction entre le « savant » et le « politique » pour reprendre la terminologie latourienne. Cette recherche permettra de mieux comprendre la rupture que la Seconde Guerre Mondiale semble imposer dans l’œuvre de Frisch. Cette rupture dans la production scientifique et le rayonnement moindre de Frisch après 1945 s’expliquent notamment par trois éléments : 1/ une réorientation nécessaire de ses travaux jusqu’alors majoritairement centrés sur l’analyse des cycles des affaires ; 2/ le succès auprès des économètres de la *Cowles Commission* notamment, de l’approche probabiliste de

Trygve Haavelmo (1944) au détriment de son approche déterministe, bien que ce dernier se soit inspiré de l'analyse de la confluence telle que définie par Frisch ; et 3/ l'adoption pour la mise en place d'un système de comptabilité nationale harmonisé au niveau international du cadre de la macroéconomie keynésienne et non celle de Frisch ou celle de l'École suédoise avec Lindahl (leurs propositions en termes d'approche sectorielle, de distinction entre les flux réels et les flux monétaires, ou encore de distinction *ex ante*, *ex post* ne sont pas ou peu retenues).

La notion d'hybridation et la grille de lecture latourien nous invitent à relever deux défis majeurs en tant que chercheur, d'une part développer les approches multi-disciplinaires pour penser à terme la pluri-disciplinarité et d'autre part penser les conditions du dialogue entre les communautés scientifiques, les responsables politiques et la société civile.

ANNEXE 1

Synthèse sur l'analyse des tendances et des projections de mobilité par le modèle âge-cohorte

Résumé de la recherche : Synthèse sur l'analyse des tendances et des projections de mobilité (Dupont-Kieffer, 2009)

Selon les projections de l'INSEE⁶⁷ les changements démographiques en Ile-de-France seraient marqués par l'augmentation et le vieillissement de la population, et toucheraient tous les départements franciliens jusqu'à 2030. Ainsi, la part des Franciliens âgés d'au moins 60 ans continuerait à augmenter. Les personnes âgées d'au moins 80 ans seraient au minimum deux fois plus nombreuses qu'actuellement dans tous les départements de la grande couronne. En particulier, cette population doublerait en Seine-et-Marne (77) d'ici 2030. Toutefois, l'Ile-de-France serait la seule région en 2030 où la part des jeunes de moins de 20 ans resterait supérieure à celle des personnes d'au moins 60 ans : 24,8 % contre 22,5 %. La part de la population active, particulièrement des personnes âgées de 20 à 59 ans, devrait rester stable. Cependant, leur poids dans la population régionale diminuerait : elles représentaient 57 % des Franciliens en 2005 et ne représenteraient plus que 53 % en 2030. Avec l'arrivée des générations nombreuses du baby-boom à l'âge de la retraite, le poids des personnes âgées de 20 à 59 ans dans la population diminuerait dans tous les départements. En effet, jusqu'à présent l'Ile-de-France attire de nombreux actifs et sa population est jeune, alors que les retraités quittent la région parisienne au moment de la fin de l'activité. Le nombre de personnes en âge de travailler diminuerait particulièrement à Paris (- 8,3 % en 25 ans). Les personnes en âge de travailler seraient plus nombreuses en 2030 dans les Hauts-de-Seine (+ 9,7 %) et en Seine-et-Marne (+ 12,5 %), départements où la croissance démographique serait la plus forte.

Ces changements démographiques auront des effets importants sur la mobilité quotidienne des Franciliens. Ainsi, **nos prédictions annoncent une poursuite de la tendance passée à la baisse des motifs des déplacements « contraints »**⁶⁸ ; en effet, les déplacements dont la destination est conditionnée et déterminée par des motifs comme le

⁶⁷ Laurianne SALEMBIER, 2007, *Ile-de-France à la page*, N.286, INSEE, Octobre 2007 (http://www.insee.fr/fr/insee_regions/idf/prodser/pub_elec/alapage/alap286.htm)

⁶⁸ Cette nomenclature des déplacements ne prétend pas définir les déplacements « contraints » ou « non contraints » dans le vrai sens sémantique du mot mais selon qu'ils dépendent de circonstances légales ou du moins contractuelles qui vont encadrer le déplacement de l'individu, notamment le contrat de travail et/ ou une inscription dans un cursus de formation. La désignation des déplacements selon une typologie entre « contraint » et « non contraint » est effectuée selon le motif à la destination qui contraint l'individu dans le sens d'arriver à une destination préalablement définie en fonction d'activité quotidiennement pratiqué et encadré par un cadre légal, comme se rendre sur un lieu de travail, aller à un rendez professionnel, se rendre à l'école ou à l'Université. Jean-Pierre Orfeuill (2000) préférerait une catégorisation entre déplacés « obligés » et « non obligés ». Nous avons préféré le terme de « contraint » pour lever toute ambiguïté soulevée par le terme « obligé », puisque un retour à son domicile devrait être considéré comme obligatoire.

travail ou les études, affichaient déjà une baisse globale pour l'ensemble de la population francilienne pendant la période de 1976 à 2001. L'explication de cette régression réside dans la diminution du nombre d'actifs occupés dans la population et l'augmentation de la population inactive. Par ailleurs, le nombre des déplacements pour les motifs « non contraints » croît régulièrement grâce notamment à l'augmentation de la population inactive et à l'allongement de la durée de vie. Ces deux phénomènes se traduisent par une stabilité de la mobilité des Franciliens dans les projections du nombre de déplacements/individu/jour et également du budget-temps. Parallèlement, en raison d'une mise à disposition croissante aux ménages de voitures particulières et d'un recours étendu au mode routier, notamment chez les femmes et les nouvelles générations, les distances des déplacements devraient continuer à progresser dans l'avenir.

La convergence de la mobilité des femmes avec celle des hommes est significative pour la période allant de 1976 à 2001. La moyenne du nombre des femmes dépasse légèrement celle du nombre des hommes en 2001, mais une analyse selon les motifs des déplacements à la destination, montre que le nombre de déplacements des femmes est presque quasi constant pour les déplacements nommés « contraints » (aux alentours de 0,76 déplacements/individu/jour). La mobilité des femmes, mesurée en nombre de déplacements, augmente pour les motifs à la destination « non contraints ».

Les hommes présentent toujours des fréquences de déplacements plus élevées que celles des femmes pour les motifs « contraints », malgré une baisse significative de 20% dans la période allant de 1976 à 2001 due aux changements économiques et à leur impact sur les emplois. Ces changements économiques tant au niveau de l'organisation de la production que des impacts des différentes crises économiques survenus au cours de ces vingt-cinq années jouent aussi sur les projections des déplacements « contraints » pour les générations dont l'âge est inscrit dans la période active du cycle de vie. Les projections de la mobilité suivant le modèle « âge-cohorte » estiment que l'abaissement du nombre de déplacements/individu/jour des hommes pour les déplacements « contraints » se poursuivrait et que ce nombre diminuerait de 13% pour la période 2010 à 2030. Les projections pour ces déplacements chez les femmes n'indiquent pas de changement significatif. Notamment, pour la période de projection de 2010 à 2030 le nombre de déplacements « contraints » pour les femmes devrait peu baisser, en passant de 0,76 à 0,73 déplacements/individus/jour.

Les projections du budget-distance en km/individu/jour estiment une plus grande croissance pour les femmes de 2010 à 2030 (4% pour les hommes contre 9% pour les femmes). Les estimations du budget-distance selon les motifs des déplacements affichent une légère croissance des distances des déplacements « contraints » chez les femmes et une baisse de 11% du budget distance pour ces déplacements chez les hommes de 2010 à 2030. Les prévisions de budget-distance des déplacements « non contraints » montrent qu'ils devraient augmenter d'environ 11% pour les hommes et pour les femmes pour la période de 2010 à 2030.

Les projections des distances quotidiennes (du lundi au vendredi) effectuées par les Franciliens estiment que seuls les individus appartenant à des ménages multi-motorisés (avec deux et plus de voitures) devraient augmenter leurs budget-distances de 5% de 2010 à 2030. Les distances quotidiennes parcourues par un individu appartenant à un ménage sans voiture ne changeraient pas significativement pour ses déplacements « contraints » tout au long de la période de projection, tandis que les individus appartenant aux ménages possédant une voiture devraient diminuer leurs budget-distances pour ces déplacements.

La croissance projetée des distances journalières devrait concerner toutes les tranches d'âge après 35-39 ans. La réduction de budget-distance des déplacements « contraints » dans les projections joue pour les tranches d'âge comprises entre 30-34 ans et 50-54 ans. Le modèle âge-cohorte estime que les budget-distances des déplacements « non contraints » devraient augmenter pour toutes les tranches d'âge entre 30-34 et 80 ans et plus, mais la croissance devrait être plus soutenue pour les tranches d'âge après la retraite.

Les projections du budget-temps estiment un léger infléchissement pour la période de 2010 à 2030 qui devrait être la résultante des variations du budget-temps des hommes et des individus appartenant à des ménages motorisés. Les projections de budget-temps pour les déplacements « contraints » montrent que les budget-temps des hommes devraient diminuer significativement pour la période de 2010 à 2030, tandis que les budget-temps des femmes pour le même groupe des déplacements ne changeraient pas pour la période de projection. La baisse du budget-temps chez les hommes pour les déplacements « contraints » ne se retrouve pas pour les déplacements « non contraints », au contraire, les budgets-temps augmentent pour toutes les catégories de la population. Pourtant, l'augmentation du budget-temps des déplacements « non contraints » est significative pour les hommes (croissance de 7% pour la période de 2010 à 2030) tandis que pour les femmes elle n'est pas affirmée (de l'ordre d'une minute).

Les projections du budget-temps selon les tranches d'âge montrent que les temps journaliers devraient croître en 2030 pour toutes les tranches d'âge supérieures à la classe d'âge 55-59 ans, mais ils devraient diminuer pour les tranches d'âge de 25-29, 30-34 et 35-39 ans. Ainsi, les estimations du budget-temps selon les motifs des déplacements à la destination affichent une considérable baisse de budget-temps des déplacements « contraints » pour les tranches d'âge de 25-29 jusqu'à 50-54 ans. Les estimations de budget-temps des déplacements « non contraints » montrent qu'ils devraient augmenter pour toutes les tranches d'âge supérieures à 40-44 ans. Ces différences de budget temps entre les différentes classes d'âge et selon le motif à la destination, ne sont pas apparentes lorsque l'on considère le niveau agrégé de la population pour laquelle on projette une relative stabilité des budgets-temps.

ANNEXE 2

Synthèse sur le Diagnostic Environnemental de la Mobilité (DEM-2006) pour la Communauté Urbaine de Lille

Résumé de la recherche : **Le Diagnostic Environnemental de la Mobilité (Dupont-Kieffer, A., Hivert, L., Merle N., et B. Quételard. 2009)**

Consommation énergétique, émissions de gaz à effet de serre et de polluants locaux de l'air : quel est l'impact des transports et des déplacements ?

La communauté urbaine de Lille a confié à l'INRETS-DEST et au CETE Nord Picardie une étude portant sur l'impact environnemental au niveau local des transports en termes de consommation énergétique, d'émissions de gaz à effet de serre (GES) et de polluants locaux de l'air. Cette recherche intègre et complète l'approche «Diagnostics-Énergie-Environnement-Déplacements » (réalisée notamment avec le logiciel DEED développé par l'INRETS pour l'ADEME), qui propose une estimation de ces impacts sur les seuls déplacements internes des résidents à partir des Enquêtes Ménages Déplacements. Le DEM élargit le calcul en prenant en compte tous les types de transport —interne, échange et transit, voyageurs et marchandises— sur la communauté urbaine de Lille. Premier constat : entre 1998 et 2006, les émissions de GES du transport sont en hausse de 5%, accompagnant une légère hausse (+2%) de la consommation d'énergie. Alors que les émissions des voyageurs stagnent (par effet d'une baisse de la mobilité automobile interne conjuguée à une hausse des déplacements d'échange et de transit), celles des marchandises augmentent fortement, de +21%. La route représente 84% des flux de marchandises mais 98% des émissions. La mobilité automobile interne des habitants de la communauté urbaine représente 54% de l'ensemble des déplacements, mais 74% de leurs kilomètres parcourus et 93% des émissions (notamment parce qu'un km parcouru en voiture est quatre fois plus émetteur que le même km parcouru en transports collectifs). Par comparaison, les transports en commun qui assurent 9% des déplacements et 17% des distances parcourues ne contribuent qu'à 5% des émissions de GES. La localisation résidentielle influe beaucoup sur les consommations et les émissions des déplacements quotidiens, notamment par le biais de la densité résidentielle et de la mixité des fonctions : un résident des centres urbains, denses et équipés en services et commerces de

proximité, peut émettre jusqu'à trois fois moins de GES pour se déplacer qu'un résident des zones péri-urbaines de l'agglomération. Concernant les émissions de polluants locaux, elles sont en forte baisse sur cette même période (1998-2006), grâce aux normes de limitation de la pollution automobile de plus en plus sévère : de -35% pour les oxydes d'azote à -62% pour le monoxyde de carbone et -56% pour les composés organiques volatils. Cette baisse s'est même accélérée par rapport à la décennie précédente pour les oxydes d'azote. Avec les filtres à particules, la baisse est aussi remarquable pour les particules (-36%) qui avaient pourtant été multipliées par 4 lors de la décennie précédente à cause de la très forte diésélisation du parc automobile. Et pour demain ? La contribution aux objectifs de réduction des émissions de GES fixés par la France (facteur 4) passe par la mise en place de mesures fortes visant à progresser vers une mobilité et une organisation spatiale moins dépendante de l'automobile.

BIBLIOGRAPHIE

Achinstein, Peter. 1968. *Concepts of Science. A Philosophical Analysis*. Baltimore : The Johns Hopkins Press.

Agacinski Sylviane. 2012. Femmes entre sexe et genre. Collection 'la librairie du XXIème siècle', Seuil.

Almodovar, Antonio et José Luis Cardoso. 2005. Corporatism and the Economic Role of Government, *History of Political Economy, Annual Supplement to Volume 37*, Duke University Press, Durham and London, 333-354.

Andvig, Jens-Christopher. 1984. Modern Macroeconomic Planning and old Positivist Philosophy. *NUPI notat* n°315, décembre. Oslo : Norsk Utenrikspolitisk Institutt.

Andvig, Jens-Christopher. 1985. *Ragnar Frisch and the Great Depression*. Oslo : Norsk Utenrikspolitisk Institutt.

Andvig, Jens-Christopher et Tore Tonstad. 1998. Ragnar Frisch at the University of Oslo. Contribution au Symposium at the Centennial of Ragnar Frisch, Oslo, 3-5 mars 1995. In Strøm, Steinar. *Econometrics and Economic Theory in the 20th Century : The Ragnar Frisch Centennial Symposium*. Cambridge: Cambridge University Press, 3-25.

Armatte, Michel. 1991a. Théorie des erreurs, moyenne et loi 'normale'. In Feldman Jacqueline, Lagneau Gérard et Benjamin Matalon (dir.). *Moyenne, Milieu, Centre, histoires et usages*. Collection 'Histoire des Sciences et Techniques'. Paris : Editions de l'EHESS. 63-84.

Armatte, Michel. 1991b. Les moyennes à travers les traités de statistique du XIXème siècle. In Feldman Jacqueline, Lagneau Gérard et Benjamin Matalon (dir.). *Moyenne, Milieu, Centre, histoires et usages*. Collection 'Histoire des Sciences et Techniques'. Paris : Editions de l'EHESS, 85-106.

Armatte, Michel. 1995. *Histoire du modèle linéaire. Formes et usages en Statistique et Econométrie*. Thèse EHESS. Paris : EHESS.

Armatte, Michel. 2005. Economical Models of Climate Change : The Costs and Advantages of Integration, in *The Sciences of Complexity: chimera or reality ?*, Paolo Freguglia ed., Ed. Esculapio, Bologna

Armatte Michel. 2007. Les économistes face au long terme : l'ascension de la notion de scénario, in A. Dahan (Dir), *Les modèles du futur*, Paris, La Découverte, .63-90.

Armatte, Michel. 2008. Climate Change : Scenarios and Integrated Modelling, *Interdisciplinary Science Reviews*, Vol. 33, N°1.

Armatte Michel et Amy Dahan. 2004, Modèles et modélisations (1950-2000) : nouvelles pratiques, nouveaux enjeux, *Revue d'Histoire des Sciences*, 2004, 57/2, 245-305.

Barberousse, Anouk, et Pascal Ludwig. 2000. *Les modèles comme fictions*. Philosophie, 68, Paris : Les éditions de minuit.

Bereni Laure, Chauvin Sébastien, Jaunait Alexandre, et Anne Revillard. 2008. *Introduction aux Gender Studies*, Bruxelles, De Boeck.

Bernstein, Michael. 2001. *A Perilous Progress: Economists and Public Purpose in Twentieth-Century America*, Princeton University Press, Princeton and Oxford.

Bjerkholt, Olav. 1998. Ragnar Frisch and The Foundation of Econometric Society and *Econometrica*. Contribution au Symposium at the Centennial of Ragnar Frisch, Oslo, 3-5 mars 1995. In STRØM, Steinar (dir.). *Econometrics and Economic Theory in the 20th Century : The Ragnar Frisch Centennial Symposium*. Cambridge : Cambridge University Press, 26-57.

Bjerkholt, Olav. 2000. *A turning point in the development of Norwegian economics – the establishment of the University Institute of Economics in 1932*. Paper to ‘Statistics and Politics’ seminar University de Bergen, 31 pp. Then published as Memorandum n° 36/2000. Departement of economics.

Bjerkholt, Olav. 2001. *Tracing Haavelmo’s steps from Confluence Analysis to the Probability Approach*. Memorandum n°25/2001. Departement of economics, University of Oslo.

Bjerkholt, Olav and Ariane Dupont-Kieffer. 2009. *Frisch’s lectures at La Sorbonne in 1932: the building up of econometrics in the interwar years*, préfaces d’Edmond Malinvaud et de Paul Samuelson. Juin, Routledge.

Bjerkholt, Olav. et Ariane Dupont-Kieffer. 2010. Ragnar Frisch's conception of econometrics, *History of Political Economy*, 42 (1), Spring, 21-74.

Bjerkholt, Olav. et Ariane Dupont-Kieffer. 2011. Ragnar Frisch and probability in econometrics : new exhibits, *History of Political Economy*, numéro spécial lié à la conférence d’avril 2010 sur l’Histoire de l’Econométrie à Duke University, 43 (supplément annuel), 109-139.

Blondiaux, Loïc et Jean-Michel Fourniau (dir.). 2011. *Démocratie et participation : un état des savoirs*, Bruxelles, De Boeck, Participations n° 1, 347 p.

Boettke, Peter et Steven Horwitz. 2005. The Limits of Economic Expertise: Prophets, Engineers, and the State in the History of Development Economics, *History of Political Economy, Annual Supplement to Volume 37*, Duke University Press, Durham and London, 10-39.

Boiteux Marcel et Baumstark Luc. (dir). 2001. « *Transport : choix des investissements et coût des nuisances* », Rapport, Commissariat Général du Plan.

Boumans, Marcel. 2003. How to design Galilean fall experiments in economics. *Philosophy of science*, 70, 308-329.

Boumans, Marcel et John B. Davis. 2010. *Economic methodology, understanding economics as a science*. Palgrave MACMILLAN.

Boumans, M., et Dupont-Kieffer, A. 2011. The history of the histories of econometrics, Introduction of the editors, *History Of Political Economy*, 43 (supplément annuel), 5-31.

Bridgman, Percy Williams. 1927. *The Logic of Modern Physics*. New York : MacMillan.

Callens, Stéphane. 1997. *Les maîtres de l'erreur, Mesure et Probabilité*. Collection 'Science, Histoire, Société'. Paris : Presses Universitaires de France. 574 pp.

Campbell, Norman R. 1920. *What is Science ?* Londres : Methuen.

Carnap, Rudolf. 1950. *Logical Foundations of Probability*, Chicago : University of Chicago Press.

Carnap, Rudolf. 1973. *Les fondements philosophiques de la physique*. Trad. Française. Paris : Raman Coli. 285 pp. (Première édition en anglais 1966, Philosophical Foundations of Physics, Basic Books, Inc).

Chipman, John S. 1998. The Contributions of Ragnar Frisch to Economics and Econometrics. Contribution au Symposium at the Centennial of Ragnar Frisch, Oslo, 3-5 mars 1995. In Strøm, Steinar (dir.). *Econometrics and Economic Theory in the 20th Century : The Ragnar Frisch Centennial Symposium*, Cambridge : Cambridge University Press, 58-108.

Christ, Carl. F. 1952. *History of the Cowles Commission 1932-1952. Economic Theory and Measurement: A Twenty-Year Research Report, 1932-52*. Chicago: Cowles Commission for Research in Economics.

Christ, Carl. F. 1983. The founding of the Econometric Society and *Econometrica*. *Econometrica*, 51(1), 3-6.

Daston, Lorraine J. 1983. Rational Individuals versus Laws of Society : from Probability to Statistics. In Heidelberg Michael et Lorenz Krüger (dir.). *Probability Since 1900*. Rapport n°25. Université de Bielefeld.

Desrosieres, Alain. 1993. *La politique des grands nombres. Histoire de la raison statistique*. Paris : La Découverte.

Desrosières, Alain. 1997. *Diriger l'économie : l'Etat, le marché et les statistiques. Cambridge History of Science.*

Desrosières, Alain. 2001. Entre réalisme métrologique et conventions d'équivalence: les ambiguïtés de la sociologie quantitative, *Genèses*, 2001/2 n°43, 112-127.

Duhem, Pierre. 1906. *La Théorie physique, son objet, sa structure*, Chevalier et Rivière, Paris.

Dupont-Kieffer, Ariane. 2001. Deux approches de l'économie quantitative de l'entre-deux-guerres : l'économétrie de Ragnar Frisch face à l'empirisme de Wesley Clair Mitchell. *Revue économique*, 52(3), 605-15.

Dupont-Kieffer, Ariane. 2003. *Ragnar Frisch et l'économétrie: l'invention de modèles et d'instruments à des fins normatives*, sous la direction du Pr. Philippe Le Gall, soutenue le 8 septembre 2003. Publiée aux Editions Universitaires Européennes en novembre 2010.

Dupont-Kieffer, Ariane. 2009. Mobilité et contrainte du développement durable en Ile de France : Eléments de projection dans le temps et dans l'espace. Rapport INRETS pour le PREDIT 04, Groupe 1, P4G06, novembre.

Dupont-Kieffer, Ariane. 2012a. Genealogy of Frisch's 1933 rocking horse model: back to the source-the Norwegian debates on reinvestment cycles. *Journal of History of Economic Theory*, vol 34, n° 4. (décembre)

Dupont-Kieffer, Ariane. 2012b. Lindahl and Frisch: National Accounting in the Interwar Years as the empirical interface of their macroeconomics, *Journal of Economic and Social Measurement*. 37(1-2), août-septembre.

Dupont-Kieffer, Ariane. 2012c. Ragnar Frisch's "Circulation Planning": An attempt at Modelling General Equilibrium. *Oeconomia-History/Methodology/Philosophy*, Octobre, 2(3), 281-303.

Dupont-Kieffer, Ariane. 2013. Le difficile mariage de la théorie économique et des instruments statistiques : mesure de l'utilité marginale et indice de prix chez Ragnar Frisch, *Oeconomia-History/Methodology/Philosophy*, Avril, 3(1), 23-57.

Dupont-Kieffer, A., Hivert, L., Merle N., et B. Quételard. 2009. *Diagnostic Énergie-Environnement des Déplacements dans l'arrondissement de Lille-du DEED classique au DEED élargi pour une évaluation de l'ensemble des déplacements voyageurs et marchandises*. CETE Nord-Picardie pour Lille Métropole Communauté Urbaine, Région Nord-Pas de Calais, ADEME, octobre.

Dupont-Kieffer, Ariane et Zoran Krakutovski. 2012. Temps de transport au regard des changements démographiques en Ile de France : tendances passées et projections à l'horizon 2030, *Recherche Transport Sécurité*, vol. 27, 75-92.

Dupont-Kieffer, Ariane et Alain Pirotte. 2011. The Early Years of Panel Econometrics, *History of Political Economy*, 43 (supplément annuel), 258-282.

Elling, J. 1961. Universitet under Okkupasjonen in *Universitet i Oslo 1911-1961*, vol.2. Oslo Universitetsforlaget.

Ellis, Brian. 1968. *Basic Concepts of Measurement*. Cambridge : Cambridge University Press.

Epstein, R. J. 1987. *A History of Econometrics*. Amsterdam : North Holland.

Frisch, Ragnar Anton Kittil. 1926a. Kvantitativ formulering av den teoretiske oekonomisks lover [Une formulation quantitative des lois de la théorie économique]. *Statsøkonomisk Tidsskrift*, 40, 299-334.

Frisch, Ragnar Anton Kittil. 1926b. Sur un problème d'économie pure. *Norsk Matematisk Forenings Skrifter*, Oslo, Séries I, n°16, 1-40.

Frisch, Ragnar Anton Kittil. 1929. Correlation and scatter in statistical variables. *Nordic Statistical Journal*, 1, 36-102.

Frisch, Ragnar Anton Kittil. 1931. Plan eller Kaos? [Plan ou chaos?]. *Tidens Tegn*, 5 novembre.

Frisch, Ragnar Anton Kittil. 1932a. *New Methods of Measuring Marginal Utility*. Tübingen : Verlag von J. C. B. Mohr (Paul Siebeck).

Frisch, Ragnar Anton Kittil. 1932b. New Orientation of Economic Theory. Economics as an Experimental Science. *Nordic Statistical Journal*, 4, 97-111.

Frisch, Ragnar Anton Kittil. 1933. Pitfalls in the Statistical Construction of Demand and Supply Curves. *Veröffentlichungen der Frankfurter Gesellschaft für Konjunkturforschung, Neue Folge Heft 5*, Leipzig : Hans Buske Verlag, 1-39.

Frisch, Ragnar Anton Kittil. 1934a. *Statistical Confluence Analysis by Means of Complete Regression Systems*. Oslo : Universitetets Økonomiske Institutt, n°5.

Frisch, Ragnar Anton Kittil. 1934b. Circulation Planning : Proposal for a National Organisation of a Commodity and Service Exchange. *Econometrica*, 2, 258-336 et 422-435.

Frisch, Ragnar Anton Kittil. 1934c. More Pitfalls in Demand and Supply Curves Analysis. *Quarterly Journal of Economics*, 48, 355-361 et 755-759.

Frisch, Ragnar Anton Kittil. 1937. An ideal programme for macrodynamic studies. *Econometrica*, 5, 365-66.

Frisch, Ragnar Anton Kittil. 1938. *Statistical versus theoretical relations in economic macrodynamics*. Miméographié, Institut d'économie de l'Université d'Oslo.

Frisch, Ragnar Anton Kittil. 1946. The Responsibility of the Econometrician. *Econometrica*, 14, 106-121.

Frisch, Ragnar Anton Kittil. 1950. L'emploi des modèles pour l'élaboration d'une politique économique rationnelle. *Revue d'économie politique*, 60, 474-98 et 601-34.

Frisch, Ragnar Anton Kittil. 1954. *Statistical versus theoretical relations in economic macrodynamic*. Oslo : Memorandum publié par l'Institut d'Economie de l'Université d'Oslo.

Frisch, Ragnar Anton Kittil. 1957. *Generalities on Planning*. Mémoire pour l'Institut d'Economie, Université d'Oslo, 26 février.

Frisch, Ragnar Anton Kittil. 1962. Preface to the Oslo Channel model – a survey of types of economic forecasting and programming, in Geary, R.C. (ed). 1962. *Europe's Future in Figures*, Amsterdam, North-Holland Publishing company, 248-286.

Frisch, Ragnar Anton Kittil. 1965. Selection and Implementation – the Econometrics of the Future, in *Semaine d'Etude sur le Rôle de l'analyse économétrique dans la formulation de plans de développement*, Pontificiae Academiae Scientiarum Scripta varia- 28, Rome, 1197-1204.

Frisch, Ragnar Anton Kittil. 1970. From Utopian Theory to Practical Applications: The Case of Econometrics. Stockholm : réimpression de *Les Prix Nobel en 1969*, 213-243.

Frisch, Ragnar Anton Kittil, et Frederick Waugh. 1933. Partial Time Regressions as Compared with Individual Trends. *Econometrica*, 1(3), 387-401.

Gallez, Caroline. 1994. Identifying the Long Term Dynamics of Car Ownership: a Demographic Approach, *Transport Reviews*, Vol. 14, 83-102.

Gallez C. et Hivert L. 1998. *BEED : mode d'emploi, Synthèse méthodologique pour les études « budget-énergie-environnement des déplacements »*, Rapport de convention ADEME-INRETS n° 690-9306-RB, 85 pages.

Gollier Christian. 2001. *The economics of Risk and Time*, MIT Press.

Guesnerie R. et Tulkens H. (ed). 2008. *The design of Climate Policy*, CES ifo Seminar Series, the MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

Haavelmo, Trygve. 1939. Om statistisk "testing" av hypoteser i den økonomiske teori [Les tests statistiques et la théorie économique]. Contribution pour *Det Tredje Nordiske Møte for Yngre Økonomer [Troisième Conférence scandinave des Jeunes Economistes]*, Copenhague, 27-30 Mai 1939, Aarhus.

Haavelmo, Trygve. 1940. The Problem of Testing Economic Theories by Means of Passive Observations in Rapport de la *Sixth Annual Conference on Economics and Statistics* at Colorado Springs, du 1 au 26 juillet 1940, *Cowles Commission for Research in Economics*, 1940, 58-60.

Haavelmo, Trygve. 1944. The Probability Approach in Econometrics. *Econometrica*, 12 (supplément), 1-118.

Hendry, David F. et Mary S. Morgan. (dir.). 1995. *The Foundations of Econometric Analysis*. Cambridge : Cambridge University Press.

Héritier, Françoise. 1996. *Masculin/féminin*, tome I (la pensée de la différence), Odile Jacob.

Héritier, Françoise. 2002. *Masculin/féminin*, tome II (dissoudre la hiérarchie), Odile Jacob.

Ingold, Tim. 2011. *Une brève histoire des lignes*, éd. Zones sensibles, Pactum Serva.

Hotelling, Harold. 1931. The Economics of exhaustible resources », *Journal of Political Economy*, vol. 39, 137-75.

Hubert, Michel. 2004. Les coûts environnementaux de l'automobile : une mise en perspective de l'évaluation, collection « Les notes de Méthode », *IFEN* n° 14, août.

Israel, Giorgio. 1996. *La Mathématisation du réel*. Paris : Seuil.

Klein, Judy L. 1997. *Statistical Visions in Time. A History of Time Series Analysis 1662-1938*. Cambridge : Cambridge University Press.

Koopmans, Tjalling Charles. 1949. Methodological Issues in Quantitative Economics, *The Review of Economics and Statistics*, Volumes 31-32, North Holland Publishing Co.

Krakutovski, Z. 2004. *Amélioration de l'approche démographique pour la prévision à long terme de la mobilité urbaine*. Thèse de doctorat. Direction de thèse : Jean-Pierre Orfeuill et encadrée par : Jean-Loup Madre et Jimmy Armoogum. Institut d'Urbanisme de Paris de l'Université Paris XII.

Latour, Bruno. 1997 (1991). *Nous n'avons jamais été modernes-Essai d'anthropologie symétrique*, La Découverte/Poche ; 26 Sciences humaines et sociales).

Latour, Bruno. 2012. *Enquête sur les modes d'existence*, La Découverte. 498 p.

Le Gall, Philippe. 1994. *Histoire de l'économétrie, 1914-1944. L'érosion du déterminisme*. Thèse de Doctorat. Paris : Université Paris I Panthéon-Sorbonne.

Le Gall, Philippe. 2002a. Trygve Haavelmo. The probability approach in econometrics (1944). In De Vroey, Michel, Greffe Xavier et Jérôme Lallement (dir.). *Dictionnaire des grandes œuvres économiques*. Paris : Dalloz.

Le Gall, Philippe. 2002b. Les représentations du monde et les pensées analogiques des économètres : un siècle de modélisation en perspective. *Revue d'Histoire des Sciences Humaines*, 6, 39-64.

Lehfeldt, Robert. A. 1914. The elasticity of demand for wheat. *Economic Journal*, 24, 212-17.

Lenoir, Marcel. 1913. *Etudes sur la formation et le mouvement des prix*. Paris : M. Giard et E. Brière.

Leontief, Wassily. 1929. Ein Versuch zur statistischen Analysen von Angebot und Nachfrage. *Weltwirtschaftliches Archiv*, 30, 1-53.

Levitas, Ruth, Pantazis, Christina, Fahmi, Eldin, Gordon, David, Lyod, Eva et Demi Patsios. 2007. *The multi-dimensional Analysis of Social Exclusion*, London: Cabinet Office, Social Exclusion Task Force, S.E. Unit. Bristol.

Lie, Einar. 1995. *Ambisjon og tradisjon : Finansdepartementet 1945-1965*. Oslo : Universitetsforlaget.

Louça, Francisco. 1999. The Economic Challenge to Keynes : Arguments and Contradictions in the Early Debates about a Late Issue. *European Journal of the History of Economics*, 6(3), 404-38.

Lutsey, Nic. 2008. *Prioritizing Climate Change Mitigation Alternatives: Comparing Transportation Technologies to Options in Other Sectors*, PhD thesis, Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, 2008.

Maas, Harro. 2001. *Mechanical Reasoning : William Stanley Jevons and the Making of Modern Economics*. Thèse, Université d'Amsterdam.

Martens, Karel. 2011. Substance precedes methodology: on cost-benefit analysis and equity. *Transportation*, 38(6), 959-974.

Martinez, Luis, Dupont-Kieffer, Ariane et Jose Viegas. 2010. « An integrated application of Zoning for Mobility Analysis and Planning: the case of Paris Region ». Communication écrite avec Luis Martinez et José Viegas, World Conference on Transport Research, Lisbonne, 11-15 Juillet. Article publié dans les *WCTR Selected Proceedings*.

McKinsey Company. 2009. *Pathways to a low carbon economy, Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve*, McKinsey & Company Inc., Février.

Medema, Steven G. 2005. Setting the Table, *History of Political Economy, Annual Supplement to Volume 37*, Duke University Press, Durham and London, 1-9.

Moore, Henry Ludwell. 1922. Elasticity of demand and flexibility of prices. *Journal of the American Statistical Association*, 18, 8-19.

Morgan, Mary Susanna. 1990. *The History of Econometric Ideas*. Cambridge : Cambridge University Press.

Morgan, Mary Susanna. 2003. Economics in Porter, Theodore et Dorothy Ross (dir). 2003. *The Cambridge History of Science, Volume 7: The Modern Social Sciences*, Cambridge University Press, 275-305.

Morgan, Mary Susanna et Margaret Morrison. 1999. *Models as Mediators*. Cambridge : Cambridge University Press, 401 p.

Morin, Edgar. 1973. *Le paradigme perdu : la nature humaine*. Collection Points Essais, Seuil.

Nadeau, Robert. 1999. *Vocabulaire technique et analytique de l'épistémologie*. Collection Premier Cycle, Paris : Presses Universitaires de France.

Nordhaus William. 2008. *A question of Balance, Weighing the Options on Global warming Policies*, Yale University Press.

Orfeuil Jean-Pierre, 2000. *L'évolution de la mobilité quotidienne*. Les collections de l'INRETS (Synthèse n° 37), Paris, 146 p.

Perrot, Michelle. 1998. *Les femmes ou les silences de l'histoire*, Collection champs histoire, Flammarion.

Pizer, William A. 2002. Combining price and quantity controls to mitigate global climate change, *Journal of Public Economics*, 85(3), pp. 409-434.

Pizer, William A. 2008. Economics versus Climate Change in Guesnerie R. et Tulkens H. (ed). 2008. *The design of Climate Policy*, CES ifo Seminar Series, the MIT Press, Cambridge, Massachusetts, chapitre 10, 201-216.

Porter, Theodore M. 1986. *The Rise of Statistical Thinking, 1820-1900*. Princeton, NJ : Princeton University Press.

Porter, Theodore. 2001. Economics and the History of Measurement. In Klein Judy L, et Mary Susanna Morgan (dir.). 2001. The Age of Economic Measurement, Annual Supplement to Volume 33, *History of Political Economy*, Duke University Press, Durham and London.

Quinet, Emile. 1998. *Principes de l'Economie des Transports*. Economica.

Rifkin, Jeremy. 2012. *La Troisième Révolution Industrielle. Comment le pouvoir latéral va transformer l'énergie, l'économie et le monde*, Éditions Les Liens qui libèrent, 2012.

Schipper, Lee, Cordeiro Maria et Diana Noriega. 2006. *Measuring the Invisible: Quantifying Emissions Reductions from Transport Solutions-Querétaro Case Study*, Embarq, WRi Report

Schipper, Lee, Cordeiro Maria, Liska Robyn, Le Anh Tuan, Orn Hans, et Weishiuen NG. 2008. *Measuring the Invisible: Quantifying Emissions Reductions from Transport Solutions-Hanoi Case Study*, Embarq, WRi Report

Schultz, Henry. 1925. The Statistical Law of Demand. *Journal of Political Economy*, 33, 481-504 et 577-637.

Schultz, Henry. 1928. *Statistical Laws of Demand and Supply with Special Application to Sugar*. Chicago : University of Chicago Press.

Schultz, Henry. 1930. *The meaning of the statistical demand curves* (mimeographed), University of Chicago. Traduit en allemand in Schultz, Henry. 1930. *Der Sinn der statistischen Nachfragekurven*. Veröffentlichungen der Frankfurter Gesellschaft für Konjunkturforschung, Herausgegeben von Dr. Eugen Altschul, Heft 10. Bonn: Kurt Schroeder Verlag, 1930.

Scott, Joan. 2012. *De l'utilité du genre*, Collection « à venir », Fayard, 219 p.

Stern, Nicholas. 2007. *The Economics of Climate Change*, Cambridge University Press, United Kingdom.

Valéry, Paul. 1926, *Entretiens* [avec Frédéric Lefèvre], Le Livre Point, Flammarion, Paris.

Vining Rutledge, 1949. Koopmans on the Choice of Variables to be Studied and of Methods of Measurement, in Methodological Issues in Quantitative Economics, *The Review of Economics and Statistics*, Volumes 31-32, North Holland Publishing Co.

Weitzman, Martin L. 2007. The Stern Review of the Economics of Climate Change, Book review for *JEL*.

Weitzman Martin. 2008. On Modeling and Interpreting the Economics of Catastrophic Climate Change, *REstat paper*.

Working, E. J. 1927. What do statistical “demand curves” show ? *Quarterly Journal of Economics*, 41, 212-35.

AEA, 2001 J. Bates et al., *Economic evaluation of emissions reductions for the transport sector of the EU, Bottom up analysis*, AEA Technology Environment, March 2001.

CE, 2006, Bettina Kampman, Sander de Bruyn, and Eelco den Boer, *Cost effectiveness of CO₂ mitigation in transport: An outlook and comparison with measures in other sectors*, CE Delft, 2006. (same contents as (ECMT 2006))

CE, 2007, Marc Davidson, Marisa Korteland, Arno Schroten, Richard Smokers, and Sander de Bruyn, *Climate policy costing methodologies: A comparative analysis for the transport sector*, CE Delft, 2007.

IEA, 2008. *Energy Technology Perspectives 2008, Scenarios & Strategies to 2050*, International Energy Agency (IEA), Paris, 2008.

INFRAS, 2006. INFRAS (Mario Keller, Samuel Mauch, Rolf Iten, Sonja Gehrig), IFEU Heidelberg (Udo Lambrecht, Hinrich Helms, Horst Fehrenbach), IVL Stockholm (Jenny Gode, Erik Särholm), TNO Delft (Richard Smokers), TU Graz (Stefan Hausberger), *Cost-effectiveness of greenhouse gases emission reductions in various sectors, final report*, Framework Service Contract No Entr/05/18, Zurich/Bern, 30 November 2006

IVM, 2006. F. Oosterhuis (ed.), et al. Institute for Environmental Studies (IVM), BIO, Ecologic, GHK, PSI, TME and VITO, on behalf of EC Directorate-General for the Environment, *Ex-post estimate of costs to business of EU environmental legislation*, Amsterdam: Free University, Institute for Environmental Studies, 2006.

OCDE. 2008. Report on *The Economic Aspects of Adaptation to Climate Change*.

OCDE. 2013. Report on *Opportunities and Costs for Transport GHG Reduction*.

TME, 2006, Ex-post estimates of costs to business of EU environmental policies, Case study Road Transport, Institute for Applied Environmental Economics (TME), 2006

TNO, 2006. Richard Smokers, Robin Vermeulen, Robert van Mieghem & Raymond Gense (TNO), Ian Skinner, Malcolm Fergusson, Ellie MacKay & Patrick ten Brink (IEEP), George Fontaras & Zisis Samaras (LAT). *Review and analysis of the reduction potential and costs of technological and other measures to reduce CO₂ emissions from passenger cars*, project carried out by TNO, IEEP & LAT on behalf of the European Commission (DG ENTR), contract nr. SI2.4082812, TNO Report 06.OR.PT.040.2/RSM, October 2006.

