RAPPORT FINAL | MAI 2010 | PREDIT CONVENTION N°07MTS063

GESTION DU TRANSPORT ET DE LA MOBILITE DANS LE CADRE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Programme de Recherche et d'Innovation
dans les transports terrestres

PROJET CARBONE

→ TOME 1

PREDIT

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

t&r

Daniel Danau, Delphine Drouet, Hakim Ouaras, Nathalie Picard, Jean-luc Prigent, Tibor Zavadil
→ Laboratoire THEMA, Université de Cergy Pontoise

André de Palma
→ Ecole Nationale Supérieure de Cachan

Moez Kilani
→ Ecole nationale des Ponts et Chaussées (actuellement : Université de Lille 3)

Jacques Houard, Stef Proost, Saskia van der Loo, Denise Van Regemorter
→ Katholieke Universiteit Leuven

Céline Kerpelt • www.curlie.be
→ Graphisme

Coordination générale

André de Palma, Jacques Houard, Stef Proost

Université de Cergy-Pontoise
Laboratoire THEMA, UMR 8184
33 boulevard du Port 95011 Cergy-Pontoise Cedex
Tél. 01.34.25.63.37 - Télécopie 01.34.25.62.33

Katholieke Universiteit Leuven
Center for Economic Studies
Naamsestraat 69 3000 Leuven , Belgique
Tél : 00.32.16.32.67.25 – Télécopie : 00.32.16.32.67.96

Ecole Nationale Supérieure de Cachan
Département d'Economie et de Gestion
61, avenue du Président Wilson 942305 Cachan Cedex
Tél. 01.47.40.20.00 - Télécopie 01.47.40.20.74

Ecole nationale des Ponts et Chaussées
Centre d'Enseignement et de Recherche en Mathématiques et Calcul Scientifique
6 et 8 avenue Blaise Pascal
Cité Descartes - Champs sur Marne 77455 Marne la Vallée Cedex 2
Tél : (0)1 64 15 30 00

Les familles heureuses se ressemblent toutes ;

Les familles malheureuses sont malheureuses chacune à leur façon.

ANNA KARÉNINE, *Léon Tolstoi*

Remerciements

Nous tenons à remercier Gerard Brun etJacques Theys pour leur support et conseils. Leur contribution a été essentielle à la réalisation de ce projet.

Nous remercions aussi Marie Gouvars et Paul Janiga pour leur relecture patiente et attentive.

Table des matières

P. 11 → 1 - INTRODUCTION

P. 14 → 2 - LE CONTEXTE

P. 14 2.1 La problématique du changement climatique

P. 14 2.1.1 Le dernier rapport du GIEC (AR4, 2007)

P. 15 2.1.2 Débats autour du rapport 2007 du GIEC

P. 15 2.1.3 Le rapport Stern, le regard d'un économiste

P. 16 2.1.4 La commission Quinet et la valorisation monétaire du carbone

P. 17 2.2 Quelques chiffres clefs

P. 19 2.3 Les réponses politiques

P. 19 2.3.1 Le protocole de Kyoto

P. 20 2.3.2 Les engagements à plus long terme au niveau de l'UE

P. 20 2.3.3 Les engagements de la France

P. 21 2.3.4 Engagement et prises de position des Etats-Unis

P. 22 2.3.5 La conférence de Copenhague (COP15, décembre 2009), le jalon suivant

P. 22 2.4 Le secteur du transport et le changement climatique

P. 22 2.4.1 Les caractéristiques et difficultés propres au secteur

P. 25 2.5 Considérations méthodologiques

P. 25 2.5.1 Equité et acceptabilité

P. 26 2.5.2 Sur la redistributivité

P. 26 2.5.3. Taxation des carburants et diversité des comportements

P. 27 2.5.4 Incertitude et couverture des risques

P. 28 2.6 Conclusions

P. 30 → 3 - LA CLEF DE VOÛTE - UN REGARD GLOBAL

P. 30 3.1 Scénarios de politique économique autour de l'objectif facteur 4

P. 31 3.2 L'outil de simulation macroéconomique, le modèle GEM-E3

P. 32 3.3 De la contingence d'un accord international

P. 35 3.4 Scénarios macroéconomiques autour du facteur 4

P. 35 3.4.1 Introduction

P. 35 3.4.2 Scénario au fil de l'eau

P. 36 3.4.3 Scénarios autour de la coopération internationale
P. 37 3.5 De l'importance de l'extension géographique du marché des permis d'émissions
P. 38 3.6 Impact de l'objectif 4 dans le domaine du transport
P. 39 3.7 Taxation spécifique et affectation des revenus
P. 40 3.8 Regard macroéconomique sur l'offre de pétrole
P. 40 3.8.1 Le prix des produits pétroliers
P. 41 3.8.2 Peut-on comprendre le marché du pétrole ?
P. 41 3.8.3 Récupération de la rente des producteurs pétroliers via une taxe carbone
P. 44 3.8.3 Est-il intéressant de se prémunir des variations brutales des prix du pétrole ?
P. 44 3.9 Conclusions
P. 46 → 4 - SUR LES MESURES FISCALES ET LES NORMES
P. 46 4.1 Introduction
P. 48 4.2 Les retombées technologiques
P. 49 4.3 Prise en compte des scénarios de coopération internationale
P. 49 4.4 Voitures propres : mesures fiscales ou normes ?
P. 50 4.5 Un exemple : les normes d'émission en Californie
P. 51 4.6 Conclusions
P. 52 → 5 - REGARD SUR L'URBAIN
P. 52 5.1 Introduction
P. 54 5.2 Le modèle monocentrique
P. 55 5.3 Application à l'Île-de-France
P. 55 5.3.1 Les résultats
P. 58 5.3.2 Variation des densités d'habitation à long terme
P. 58 5.3.3 Etudes de sensibilité
P. 59 5.3.4 Impact sur les émissions de CO_2
P. 59 5.4 Simple cordon versus multi-cordon
P. 60 5.5 Impact des transports en commun
P. 60 5.5.1 Le modèle
P. 62 5.5.2 Application et résultats
P. 63 5.5.3 Impact des modifications de l'habitat sur les émissions de CO_2
P. 64 5.6 Conclusions

P. 65 → **6 - REGARD SUR L'INTERURBAIN**
P. 65 6.1 Introduction
P. 66 6.2 Etude de cas : le canal Seine-Nord Europe (SNE) et son projet d'extension
P. 67 6.3 Etudes réalisées sur le projet d'extension
P. 67 6.3.1 L'Etude VNF
P. 69 6.3.2 Autres études sur le projet d'extension
P. 70 6.4 Le modèle de simulation MOLINO
P. 70 6.4.1 Présentation générale
P. 70 6.4.2 Modélisation de l'incertitude.
P. 71 6.5 Résultats et discussions
P. 71 6.5.1 Application et calage du modèle sur le cas de référence
P. 72 6.5.2 Résultat des simulations
P. 74 6.5.3 Calcul des revenus du péage
P. 75 6.5.4 Calcul des volumes de trafic
P. 76 6.5.5 Calcul des émissions de CO_2
P. 78 6.6 Conclusions : un trafic plus élevé, mais plus propre
P. 80 → **7 - CONCLUSIONS**
P. 85 → **8 - BIBLIOGRAPHIE**
P. 89 → **9 - WEBOGRAPHIE**
P. 90 Liste des tableaux
P. 91 Liste des figures
P. 92 Liste des annexes

• Le tome 2 reprend les annexes du présent rapport

1 | INTRODUCTION

La présente étude, réalisée pour le compte du PREDIT Groupe Opérationnel 6, traite d'un thème dont l'intitulé a le mérite de s'énoncer simplement : l'impact sur les émissions de CO_2 de mesures politiques dans le domaine du transport.

Le «projet Carbone», qui désigne les travaux réalisés dans ce cadre, a consisté en une série de recherches dont nous résumons ici les résultats.

La problématique de la limitation des émissions anthropiques de Gaz à Effets de Serre (GES) et donc de CO_2 concerne tous les niveaux de la société. Elle implique l'ensemble des nations à la recherche d'un accord autour de la limitation des émissions. Elle concerne aussi le citoyen lorsque ce dernier choisit ses déplacements et ses modes associés. Une étude de l'impact des mesures politiques dans le domaine du transport se doit de tenir compte de ces différentes échelles et de leurs interactions. Il s'agit là d'un objectif *a priori* fort ambitieux. Dans le cadre du *projet Carbone*, nous avons voulu éviter le piège de la construction d'une grande étude théorique, orientée « top-bottom », dont les résultats, généraux et abstraits, resteraient difficiles à mettre en pratique. L'approche ici adoptée se veut plus horizontale : elle a été initiée en partant de manière relativement autonome de plusieurs points de vue orientés vers certains aspects importants et significatifs pour le domaine des transports. Ces points de vue sont notamment orientés vers la macroéconomie, la dimension urbaine ou interurbaine. Par la suite, nous avons tenté de mettre en évidence les interactions et les convergences entre ces différents regards, affinant nos études en fonction des couplages décelés. Ce travail d'intégration a été notamment réalisé durant les différentes réunions d'avancement du projet.

La plupart de ces travaux mettent en œuvre des outils mathématiques ou statistiques variés, parfois innovants. Ils offrent à nos yeux un alliage délicat de sophistication et de pertinence. Des aspects dynamiques et d'incertitudes inhérents à la problématique traitée ont été pris en compte.

La problématique de la limitation des émissions de CO_2 est globale. La section suivante de cette synthèse consiste donc en un rappel du contexte général autour de la prise en compte du changement climatique. Une attention particulière sera portée aux aspects concernant le secteur du transport. Certains de nos travaux de nature générale y sont rapportés : ils concernent notamment les thèmes de l'équité, de la distributivité des mesures politiques, des conséquences dues à l'hétérogénéité des comportements des usagers de véhicules privés.

La section 3 est consacrée aux aspects macroéconomiques de la problématique. Véritable clef de voûte du reste de cette étude, elle aura pour but de préciser les scénarios importants sous-jacents. Nous y verrons comment l'incertitude autour de la problématique de la limitation des émissions de CO_2 a, elle aussi, une origine humaine. En effet, les choix politiques relatifs à la coopération internationale restent peu connus à ce jour. Ils ont pourtant un impact considérable sur l'efficacité des mesures à une échelle plus locale.

Dans la section 4, l'efficacité relative d'instruments comme les mesures fiscales sur les carburants, sur la demande de voitures, ou l'imposition de normes est examinée. Les scénarios associés à l'environnement international décrit dans la section précédente sont ici pris en compte. Nous verrons que si la taxation sur les carburants représente *a priori* la mesure la plus efficace pour un pays isolé, il n'en va plus de même lorsque des environnements plus réalistes sont considérés.

La section 5 est dédiée au regard urbain. La tarification du transport routier urbain, une source prometteuse de double dividende, y est traitée. Cette section étudie les impacts à court terme, comme la diminution résultante du trafic et des émissions de CO_2, ainsi que les conséquences à long terme sur le réaménagement urbain. La problématique des transports en commun y est aussi abordée de manière spécifique. Les modèles développés à cette occasion ont été appliqués et discutés dans le cas important de l'Île-de-France.

La section 6, le regard interurbain, traite des transports interurbains de marchandises. Nos travaux se sont plus particulièrement intéressés à l'analyse des projets d'infrastructure favorisant le report vers des modes de transports moins polluants. Cette analyse se fait avec un modèle de simulation qui permet la prise en compte de l'incertitude relative à la demande de transport et au coût de l'énergie. Un exemple emblématique, le projet d'extension du canal Seine-Nord Europe, a été étudié ici. Son impact sur les émissions de CO_2 est estimé et nous montrons que même si ce projet conduisait à une augmentation des émissions, ce serait notamment en contrepartie d'une augmentation significative de l'activité économique.

Notre conclusion reprendra une série de recommandations tirées des études présentées dans les chapitres précédents.

Les annexes renseignées dans le texte détaillent nos travaux. Elles se retrouvent dans le tome 2 du présent rapport.

- **Annexe A** « Le choix entre équité et efficience et la problématique du changement climatique » considère le dilemme posé par l'arbitrage entre l'équité et l'efficience. Quelques approches s'inscrivant dans le cadre de la problématique de cette études y sont présentées.

- **Annexe B** « Equipement automobile, type de carburant, consommation et émissions de CO_2 des véhicules privés» présente les résultats d'une étude statistique sur l'usage de véhicules privés par les ménages.

- **Annexe C** « Fiscalité, congestion et émissions de CO_2 » introduit un modèle d'analyse de l'impact d'une taxe sur le carburant en présence de congestion.

- **Annexe D** « Marché des Options et taxes anti-pollution » résume un travail sur l'optimisation jointe des marchés financiers et environnementaux, résumant la publication présentée en Annexe D-1.

- **Annexe D-1** « Hedging global environment risks: An option based portfolio insurance » est une publication traitant de l'optimisation jointe d'actifs financiers et environnementaux.

- **Annexe E** « Aspects macroéconomiques autour de l'objectif facteur 4 » présente les travaux macroéconomiques réalisés dans le cadre du *projet Carbone*.

- **Annexe F** « Automobile Fuel Efficiency Policies with International Cost Spillovers » consiste en une publication décrivant des travaux sur l'efficacité comparée de mesures fiscales et de normes dans le secteur automobile selon le type d'environnement international.

- **Annexe G** « Le modèle monocentrique et son application » est une description du modèle monocentrique spécifiquement développé pour étudier les impacts de différents types de tarification urbaine du transport privé.

- **Annexe G-1** « Congestion pricing and long term urban form: Application to Île-de-France » est une publication présentant les travaux portant sur le modèle monocentrique développé pour l'évaluation des schémas de tarification et les résultats de son application à la région Île-de-France.

- **Annexe G-2** « Cordon pricing in the monocentric city model: theory and application to Île-de-France » est une publication utilisant le modèle monocentrique et comparant les avantages respectifs d'un péage à simple cordon et multicordon dans le cas de l'Île-de-France.

- **Annexe H** « Transport collectif : impacts sur la dynamique urbaine et les émissions » résume les études sur l'impact du transport collectif sur la forme urbaine et les émissions de CO_2.

- **Annexe I** « Analyse coût-bénéfice et évaluation de projets de transport avec demande et prix de l'énergie incertains. Application au canal Seine-Nord Europe » offre une étude des conséquences économiques et en termes d'émissions de CO_2 du projet d'extension du canal Seine-Nord Europe.

2 | LE CONTEXTE

2.1 - LA PROBLÉMATIQUE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le consensus scientifique international sur les conséquences climatiques des émissions de Gaz à Effets de Serre (GES) résultant de l'activité humaine continue à se renforcer et à se préciser.

2.1.1 - LE DERNIER RAPPORT DU GIEC (AR4, 2007)

Le quatrième rapport[1] publié en 2007 par le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) confirme la très forte probabilité de l'hypothèse considérant l'activité humaine comme une cause significative d'un réchauffement climatique constaté depuis la période industrielle. Selon ce rapport, le dioxyde de carbone (CO_2), le premier des GES anthropiques, a vu ses émissions annuelles croître de 70% entre 1970 et 2004. Ces émissions continueraient à augmenter dans les prochains décennies si les politiques actuelles d'atténuation et les pratiques actuelles de développement durable étaient maintenues telles quelles. La poursuite de ce rythme d'émissions conduirait à des changements climatiques bien plus importants que ceux observés jusqu'à présent.

Le rapport poursuit avec les impacts attendus suite au réchauffement climatique en fonction de plusieurs scénarios. Les effets en seraient le plus souvent négatifs sur les systèmes naturels et humains.

Les options d'adaptation humaine et d'atténuation y sont aussi considérées.

En ce qui concerne l'adaptation, celle-ci devra être en général de bien plus grande envergure qu'actuellement, si l'on désire réduire notre vulnérabilité au changement climatique. La capacité d'adaptation humaine est étroitement liée au développement socio-économique, et se trouve inégalement répartie à la fois entre les sociétés et en leur sein.

Le rapport suggère une série d'actions et d'instruments politiques permettant l'atténuation des émissions de GES. Dans le domaine des transports, on y retrouve notamment les taxes et normes sur les véhicules et carburants, la tarification du trafic routier, le transfert modal, le développement ou la réorganisation des infrastructures appropriées.

L'importance de la coopération internationale dans la coordination des efforts d'atténuation est mise en avant.

L'aspect cumulatif des émissions, ainsi que le caractère irréversible des changements induits, justifient une action rapide et efficace.

1 Les rapports du GIEC peuvent être téléchargés sur le site http://www.ipcc.ch/home_languages_main_french.htm
Une synthèse du rapport AR4 se trouve sur le site http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/SYR-_FINALfr.pdf.

2.1.2 - DÉBATS AUTOUR DU RAPPORT 2007 DU GIEC

Toute publication à caractère scientifique suscite controverses et débats, c'est le propre de l'activité scientifique. Le rapport 2007 du GIEC ne fait pas exception à la règle, même s'il est le fruit des travaux d'une collection impressionnante d'équipes scientifiques.

La plupart des critiques de ce rapport ne remettent d'ailleurs pas généralement en cause l'origine anthropique des changements récents. Pour ne citer qu'un seul exemple, le climatologue R. Pielke Sr[2] soutient l'idée que les forçages anthropiques sur le climat ne peuvent être limités aux effets radiatifs des émissions de CO_2, mais comprennent également d'autres facteurs significatifs comme les émissions d'aérosols ou les changements d'affectation des sols. La destruction des forêts équatoriales en est un exemple. Les mécanismes exacts régissant les interactions entre les différents forçages ne sont pas encore maîtrisés. En d'autres termes, cet auteur soutient qu'une focalisation excessive sur le CO_2 risque de faire perdre de vue l'importance des autres sources de changement, alors qu'il n'y a pas encore de certitude sur les impacts respectifs des différentes types de forçages.

Dans le secteur des transports, nous supposerons ici que les émissions de CO_2 peuvent cependant être considérées comme un marqueur raisonnable des émissions de GES produits par la combustion de carburants.

2.1.3 - LE RAPPORT STERN[3], LE REGARD D'UN ÉCONOMISTE

Dans un rapport remis au gouvernement britannique en 2006, l'économiste Nicholas Stern évalue les impacts économiques probables suite au changement climatique. Un seuil acceptable de concentrations de CO_2e[4] est déterminé et les coûts nécessaires à la limitation des émissions associées y sont évalués. La principale conclusion de ce rapport peut être simplement résumée comme suit : les bénéfices résultant d'une limitation rapide et significative des émissions dépassent largement les coûts nécessaires à cet effet.

Pour ce qui concerne le secteur des transports, le rapport Stern constate que des limitations importantes des émissions seront difficiles à mettre en place à court terme, mais deviendront indispensables à long terme.

2 Pielke R Sr. (2008). Cet auteur considère aussi que les mécanismes mis en jeu par suite des forçages anthropiques de diverses nature conduisent plutôt à redouter un changement climatique aux effets localisés, plutôt qu'à un réchauffement global.

3 Stern N.(2006), «Report on the Economics of Climate Change». Voir aussi Stern N. (2008), «The Economics of Climate Change».

4 CO_2e signifie ici CO_2 équivalent, parfois noté CO_2eq. Ce diminutif correspond à une moyenne pondérée en termes de CO_2 de l'impact des divers gaz composant les GES . Nous détaillons plus en avant cette définition dont les contours peuvent varier.

Stern assume les incertitudes propres à ce genre de calcul à long terme et propose une sorte de Pari de Pascal[5] : même si les conséquences de l'augmentation des GES ne sont pas connues à ce jour avec certitude, les risques encourus sont trop importants par rapport au coût de mesures de limitation des émissions de GES. Une action rapide est donc plus que nécessaire.

Citant notamment les travaux de Roger Guesnerie[6], Stern met l'accent sur l'importance de l'utilisation d'un taux d'actualisation approprié dans la valorisation du futur. Une boutade peut résumer le sens du message de Stern aux économistes tentés d'utiliser les actualisations directement dérivées du marché : l'avenir de nos enfants ne peut être valorisé comme celui d'une unité de production manufacturière.

L'augmentation de la concentration en GES est donc une des causes premières du changement climatique. La concentration en CO_2e constitue un paramètre environnemental et global, pertinent pour la fixation des objectifs à long terme. Une fois cet objectif fixé à 550 ppm de CO_2e,[7] l'étude économique porte sur les chemins possibles d'émissions de GES permettant de ne pas dépasser ce seuil à l'échéance voulue.

2.1.4 - LA COMMISSION QUINET ET LA VALORISATION MONÉTAIRE DU CARBONE

A la demande du gouvernement français, une commission a été mise en place en 2008 par le Centre d'Analyse Stratégique. Son but a été de mettre à jour la valeur de référence des émissions de CO_2.[8]

La valeur tutélaire originale du CO_2, fixée à 27€/tonne en 2001- et située actuellement à 32€/tonne - résultait quant à elle des travaux de la commission « Transports: choix des investissements et coût des nuisances » présidée par Marcel Boiteux.[9]

Cette remise à niveau tient compte de l'évolution des connaissances scientifiques et du cadre politique de ces dernières années, et s'appuie sur l'usage d'une série d'outils de modélisation économiques. Une certaine augmentation de la valeur d'émission du carbone est constatée à terme (on parle ici de l'horizon 2030) par rapport à la valeur déterminée en 2001. La commission recommande en conséquence un rattrapage progressif de cette valeur réajustée. Cette approche permet notamment d'éviter une discontinuité déplaisante dans les calculs des coûts de carbone.

5 «Ouy ; mais il faut parier ; cela n'est pas volontaire ; vous estes embarqué ; et ne parier point que Dieu est, c'est parier qu'il n'est pas. Lequel prendrez vous donc ? Pesons le gain et la perte en prenant le party de croire que Dieu est. Si vous gagnez, vous gagnez tout ; si vous perdez, vous ne perdez rien. Pariez donc qu'il est sans hésiter.», Blaise Pascal, Les pensées (1670), disponible sur http://www.bribes.org/trismegiste/pastable.htm.

6 Guesnerie, R. (2004). «Calcul économique et développement durable.».

7 Stern (2008) considère que cet objectif de 550 ppm CO_2e a le mérite d'être atteignable tout en limitant les conséquences climatiques extrêmes résultant d'une augmentation de la température moyenne globale de la planète.

8 Quinet A. (2008)« La valeur tutélaire du Carbone », rapport de la commission, Centre d'Analyse Stratégique.

9 Boiteux M. (2001) « Transports: choix des investissements et coût des nuisances », Commissariat général du plan, téléchargeable via http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/014000434/index.shtml.

Par ailleurs, ce rattrapage conjugué à la révision en 2005 du taux d'actualisation à 4%[10] permet d'offrir une meilleure prise en compte de l'effet de serre. Vu les incertitudes sous jacentes, une révision quinquennale de ce calcul est recommandée.

Les calculs économiques utilisés dans le rapport Quinet reposent sur une méthode de type coûts efficacité, consistant à déterminer une trajectoire d'émissions permettant de satisfaire aux objectifs voulus. Une telle approche a aussi été adoptée pour les études macroéconomiques réalisées de manière indépendante dans le cadre du *projet Carbone*.

• 2.2 - QUELQUES CHIFFRES CLEFS[11]

Les quelques chiffres présentés ci-dessous permettent de fixer les idées.

→ Concentration de CO_2

Concentration globale de CO2 dans l'atmosphère terrestre (2005) : 375 ppm
Taux de croissance : environ 2ppm/an ces 10 dernières années.
Niveau d'avant la révolution industrielle : 280 ppm

* CO_2e: le CO_2 équivalent

Il existe à notre connaissance deux définitions du Co_2 équivalent (CO_2e), mentionnées dans l'AR4 du GIEC[12]

D'une part le CO_2e « direct » ou CO_2e « Kyoto », comprenant le panier de GES repris par le protocole de Kyoto et reposant sur la mise en équivalence CO_2 du potentiel de réchauffement global (PRG) associé à chacun des GES considérés. C'est ce coefficient qui est utilisé dans le rapport Stern et dans le présent rapport par défaut.

D'autre part le CO_2e « total » complète la définition précédente par l'incorporation de l'effet sur le réchauffement global des aérosols et de l'Utilisation des Terres, leur Changement et la Forêt (l'acronyme étant UTCF, ou plus joliment LULUCF en anglais).

Il est à remarquer que certains inventaires considèrent aussi des équivalents CO_2 soit hors UTCF, c'est-à-dire ce que nous appelons ici des CO_2e « Kyoto », soit en tenant compte de l'UTCF, sans prise en compte de l'impact des aérosols

Concentration globale de CO_2 dans l'atmosphère terrestre (2005) : 375 ppm

Niveau actuel de concentration globale de CO_2e « kyoto » : 455ppm (433, 477)

Niveau actuel de concentration globale de CO_2e « total »: 375 ppm (311,435)

10 Lebègue D. (2005) « Révision du aux d'actualisation des investissements publics », rapport du groupe d'experts, Commissariat général du Plan.
11 Lorsque non mentionnée, les sources de données proviennent de l'AR4 du GIEC (op. cit.).
12 GIEC,AR4, P102.

La paire de chiffres située à la droite de ces deux valeurs fournit un intervalle de confiance. Il est intéressant de constater que si les moyennes de la concentration de CO_2 et de CO_2e « total » sont fort proches, il n'en va absolument pas de même de leur variance.

→ Emissions actuelles de CO_2e mondiales et leur évolution future :

La petite estimation ci-dessous est extraite de l'article de Stern « The economics of Climate Change » (op.cit.).

40-45 Gt/an pour une population de 6 milliards d'individus, correspond à des émissions de 7 tonnes de CO_2e[13] par individu.

Pour l'année 2050, en supposant une population de 9 milliards, les émissions devraient être en moyenne de 2 à 2,5 tonnes de CO_2e par tête.

Sachant que 8 milliards d'habitants proviendront des pays en voie de développement, cela signifierait que tout accord mondial devra tenir compte en premier lieu de la participation de cette catégorie de pays.

→ Emissions de la France et d'autres pays

Le tableau 2.1 fournit les chiffres d'émissions de CO_2 par habitant pour la France et quelques pays significatifs.

PAYS	1990	2004
Allemagne	12.3	9.8
Belgique	10.1	9.7
Brésil	1.4	1.8
Canada	15	20
Chine	2.1	3.8
Espagne	5.5	7.6
France	**6.4**	**6**
Inde	0.8	1.2
Pays-Bas	9.4	8.7
Royaume-Uni	10	9.8
Suisse	6.2	5.4
USA	19.3	20.6

Tableau 2.1 : Emissions annuelles en tonnes de CO_2 par habitant pour quelques pays, dont la France (données HDR[14])

On constate que la France reste un émetteur plutôt modeste parmi les pays développés. Cette relative sobriété, due en partie à l'importance du parc de production électrique d'origine nucléaire, s'est renforcée entre 1990 et 2004.

13 Donc des CO2e "Kyoto", puisque utilisés par N. Stern.
14 Human Development Report 2007/2008 "Fighting climate change: Human solidarity in a divided world", UNDP. Téléchar sur http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2007-2008/

→ Le secteur du transport

Un autre tableau met en valeur le poids du transport dans les émissions totales de CO_2.

SECTEUR	2007 (%)	EVOLUTION 2007/1990 (%)
Transport	34	+15,6
Résidentiel/Tertiaire/ Agriculture	23	-0.9
Industrie Manufacturière	20	-10
Industrie Energie	17	+1,2
Autres	6	-

Tableau 2.2 : France – Répartition des émissions de CO_2 par secteur (CITEPA Inventaire Mars 2009[15])

Le secteur des transports représente près de 30% des émissions et constitue donc le poste le plus important. De plus, il s'agit du secteur dont la croissance a été de loin la plus significative au cours des deux dernières décennies.

• 2.3 - LES RÉPONSES POLITIQUES

2.3.1 - LE PROTOCOLE DE KYOTO

Au titre de la convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique (UNFCCC), le protocole de Kyoto, adopté fin 1997, est entré en vigueur en 2005. Il engage juridiquement les principaux pays qui l'ont ratifié à réduire leurs émissions annuelles de GES sur la période 2008-2012 par rapport à 1990. Un mécanisme d'échange de permis d'émissions et de flexibilité sur la base de projets est prévu.

Le protocole a été ratifié par l'Union européenne (UE) en 2002. La réduction des GES qui y est prévue à l'horizon 2012 est de 8% par rapport à l'année 1990. Dans ce cadre, la France s'est engagée à une stabilisation de ses émissions sur cette période.[16]

La non-participation des Etats-Unis au protocole de Kyoto a conduit les participants à offrir des concessions majeures à une série de pays, dont la Russie. Leur participation était en effet indispensable à la mise en vigueur du traité. Les objectifs ont en conséquence été réduits. Il est vraisemblable que, même si les objectifs du protocole étaient respectés, son impact réel sur les émissions ne serait que peu significatif.

Le protocole de Kyoto est un accord à moyen terme qui se termine en 2012. Il a cependant eu le mérite de stimuler la mise en place d'une première génération d'instruments politiques destinés à limiter les émissions. Le système des permis négociables d'émissions en fournit un exemple. Par ailleurs, il s'agit du premier accord significatif issu du processus régulier de négociations internationales dénommées COP (Conferences of Parties) créées par l'UNFCCC.

15 Document téléchargeable sur http://www.citepa.org/publications/Inventaires.htm#inv1.
16 Voir à ce sujet http://www.citepa.org/emissions/france_objectifs/index.htm.

2.3.2 - LES ENGAGEMENTS À PLUS LONG TERME AU NIVEAU DE L'UE

En mars 2007, l'UE s'est engagée à réduire ses émissions de GES à l'horizon 2020 de 20 % de manière unilatérale ou de 30 %, « pour autant que d'autres pays développés s'engagent à atteindre des réductions d'émissions comparables et que les pays en développement plus avancés sur le plan économique apportent une contribution adaptée à leurs besoins et à leurs capacités respectives ».[17]

L'Europe a donc pour objectif inconditionnel une réduction unilatérale de 20% en 2020 par rapport à 1990.[18] Deux catégories d'émetteurs de GES sont distingués : d'une part une catégorie regroupant les grandes sources d'émissions auxquelles s'applique un régime de droits d'émission négociables[19]. Il s'agit du secteur « ETS[20] », comprenant la grande industrie et les producteurs d'électricité. D'autre part, le secteur dit hors ETS, regroupant principalement les secteurs du transport, du tertiaire et du résidentiel. Pour ce dernier secteur, c'est aux gouvernements nationaux respectifs qu'il incombe de choisir les mesures de politique environnementale nécessaires à l'atteinte des objectifs fixés par pays.

Les transferts de quotas entre pays sont autorisés sous certaines conditions, ainsi que le commerce de permis d'émission vers des pays tiers.

2.3.3 - LES ENGAGEMENTS DE LA FRANCE

→ L'objectif facteur 4

La loi de programme du 13 juillet 2005 a introduit l'objectif dit du « facteur 4 », c'est-à-dire l'objectif de division par deux des GES au niveau mondial à l'horizon 2050. Cela nécessitera, compte tenu des différentes émissions entre pays et d'une volonté d'équité, une division par quatre ou cinq des émissions des pays développés, dont la France.

→ Le Grenelle Environnement

Le « Grenelle environnement », organisé en 2007 et comprenant un ensemble de parties prenantes de la société française, a confirmé cet engagement. Un ensemble de mesures et d'investissements publics ont été proposés à cet effet.[21]

Parmi les investissements recommandés par ses conclusions, figure le projet d'extension du canal « Seine-Nord Europe ».[22] Une étude sur ce projet d'infrastructure, présentée dans la section 6 du présent rapport , a été réalisée dans le cadre du *projet Carbone*.

17 http://register.consilium.europa.eu/pdf/fr/08/st03/st03738.fr08.pdf.
18 Certains font remarquer que l'UE, passée de 15 à 27 membres au cours des années, comprend à ce jour une série de pays dit de transition dont la valeur élevée des émissions en 1990 faciliterait significativement les objectifs de L'UE.
19 Ces permis autorisent les détenteurs à émettre une certaine quantité de CO_2. Ils peuvent sous certaines conditions être vendus ou achetés.
20 ETS pour « Emission Trading System ».
21 Deux derniers paragraphes sont inspirés presque mot pour mot de ce qui a été rédigé sur le sujet dans le rapport Quinet mentionné ci-dessus.
22 Voir à ce sujet http://www.legrenelle-environnement.fr/IMG/pdf/Fiche_2.pdf.

Une des conséquences du Grenelle Environnement a été l'adoption de la loi dite « Grenelle 1 » en Juillet 2009. Cette loi reprend un certain nombre des mesures proposées dans le domaine des transports, comme l'instauration d'une taxe kilométrique pour les poids lourds.

→ La commission Rocard et la Contribution Climat Energie (CCE)[23]

Présidée par Michel Rocard, une conférence d'experts ainsi qu'une table ronde regroupant une série d'acteurs sociétaux, ont remis un rapport en Juillet 2009 suggérant l'instauration d'une taxe sur l'émission de carbone, dénommée officiellement la Contribution Climat Energie (CCE), plus familièrement connue sous le nom de taxe carbone.

Les conclusions du rapport s'appuient principalement sur les travaux de la commission Quinet mentionnée dans la section 2.1.4 ci-dessus. Elles recommandent l'instauration d'une CCE à 32€ la tonne de CO_2, avec une actualisation destinée à atteindre une valeur de 100€ la tonne de CO_2 à l'horizon 2030. Une révision quinquennale en est suggérée, via des structures de gouvernance appropriées. Le champ d'application, la coordination avec les secteurs soumis au système européen des quotas d'émissions ainsi que diverses possibilités d'affectation de la recette font partie des points examinés. Les éventuelles divergences et difficultés pratiques, dont notamment la coexistence avec le système européen des permis d'émission ont été mises en évidence.

Quelques études macroéconomiques ont été réalisées à cette occasion, en plus de celles déjà présentes dans le rapport de la Commission Quinet. Elles portent notamment sur l'utilisation des recettes. Leurs résultats vont dans le même sens que les résultats obtenus dans le cadre du présent projet, présentés dans la section 3 de ce rapport.

Il est à remarquer que la Commission Rocard signale l'importance d'une tarification du déplacement et donc de l'intérêt d'études sur la tarification de l'usage d'infrastructure de transport. La section 5 de ce rapport est consacrée à une étude de l'impact d'une tarification des transports routiers en Île de France.

2.3.4 - ENGAGEMENT ET PRISES DE POSITION DES ETATS-UNIS

Aux Etats-Unis, un projet de loi visant à réduire les émissions de GES a passé le cap du Congrès en juin 2009.[24] Ce texte de loi, qui vise à une réduction des émissions de GES de 17% (sur une base 2005) comprend notamment l'instauration d'un marché de permis d'émission, ainsi qu'une prime à la casse. Vu le bilan fortement anti-environnemental du sénat américain de ces dernières années, l'approbation finale du texte est loin d'être garantie.

23 L'ensemble des travaux réalisés dans le cadre de cette commission est téléchargeable sur le site http://www.contributionclimatenergie.fr/.

24 L'information sur le contenu et le parcours parlementaire du texte de loi en question peut être obtenu sur le site http://www.govtrack.us/congress/bill.xpd?bill=h111-2454.

2.3.5 - LA CONFÉRENCE DE COPENHAGUE (COP15, DÉCEMBRE 2009), LE JALON SUIVANT

Cette conférence, qui regroupe les pays ayant ratifié la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique, avait pour objectif principal la négociation d'un accord destiné à succéder au protocole de Kyoto, ce dernier prenant fin en 2012.

Même si les dernières observations scientifiques confirment l'augmentation des émissions et les effets du changement climatique, il était loin d'être certain que cette conférence débouche sur un accord de coopération général et efficace. Dans le cadre du *projet Carbone*, nous avons examiné en détail la raison d'une telle incertitude ; ces résultats sont présentés en section 3.

Vu le temps de maturation nécessaire à l'élaboration d'un accord international efficace, il est vraisemblable que la conférence suivante (COP16), prévue à Caucun en décembre 2010, constituera une prochaine étape importante dans le long parcours de la mise en place d'accord international dans le domaine de l'environnement.

A l'heure où ce rapport est mis sous presse, Il est à ce jour trop tôt pour pouvoir apprécier les résultats de la conférence de Copenhague. Il nous est cependant permis de constater qu'un accord international efficace n'a pas encore vu le jour.

• 2.4 - LE SECTEUR DU TRANSPORT ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

2.4.1 - LES CARACTÉRISTIQUES ET DIFFICULTÉS PROPRES AU SECTEUR

Comme il a été rappelé ci-dessus, l'UE a confié aux états nationaux la responsabilité du choix des mesures politiques destinées à limiter les émissions de GES dans les secteurs hors ETS, notamment pour les secteurs du transport et du résidentiel.[25]

Sans tenir compte du défi imposé par le changement climatique, les difficultés de mise en œuvre de décisions satisfaisantes du point de vue économique dans le domaine des transports sont bien connues[26] : multiplicité toujours croissante des décideurs aux intérêts divergents, importance des externalités rendant difficile la mise en place de marchés efficients, forte diversité des acteurs, difficulté de réaliser des prévisions fiables notamment quant à la répartition des surplus économiques.

La nouvelle donne instaure la limitation des émissions de GES comme un objectif au moins aussi important que le traditionnel objectif économique. Cela conduit donc les économistes à devoir reprendre leur bâton de pèlerin et à revoir en conséquence leurs travaux. C'est aussi l'objet de cette présente recherche que de replacer la limitation des émissions de CO_2 au centre de la réflexion économique.

25 Remarquons toutefois que le transport aérien participera aux systèmes de quotas d'émissions à partir de 2012
26 Voir à ce sujet le chapitre X du livre d'Emile QUINET, «Principes d'économie des transports» , Economica, 1998.

Comme nous l'avons rappelé ci-dessus, si les émissions de GES sont locales, le dommage résultant est global. De plus, les effets en sont retardés, avec des échelles de temps grandes et incertaines. Les dommages en sont donc difficilement valorisables. Ces deux spécificités ne facilitent pas la détermination et la mise en place de mesures efficaces, comme nous le rappellerons par après.

* Transport : Service et Infrastructure

Le secteur des transports peut se décomposer en deux sous-ensembles : celui des services, qui traite de la mobilité des personnes et des marchandises via les différents modes privés ou publics, et celui des infrastructures qui concerne la construction et l'exploitation des installations permettant le transport. Ces deux sous-secteurs possèdent des caractéristiques distinctes.

Les services de transports se caractérisent par un pouvoir de décision réparti à l'extrême, sur des variétés d'acteurs différents les uns des autres, notamment les citoyens. Le secteur des infrastructures des transports se distingue quant à lui par le nombre réduit d'agents décideurs, le coût élevé et le caractère durable des investissements projetés ou réalisés, ainsi que par l'importance des arbitrages sociétaux et spatiaux souvent exigés.

* Classification des instruments politiques[27]

Une classification en catégories des instruments politiques dans le domaine du transport est présentée dans le tableau 2.3. Elle permet *a priori* de distinguer quelques caractéristiques importantes des catégories d'instruments politiques destinés au contrôle des émissions de CO_2.

De nombreuses études et débats ont été consacrés aux mérites respectifs de ces diverses catégories. La catégorie des mesures de type réglementaire regroupe notamment les mesures telles que les normes sur les procédés ou les émissions, mais aussi toutes sortes de contraintes comme par exemple la disponibilité des places de stationnement. Cette catégorie n'a pas de manière générale la faveur des économistes. La raison principale est que la mesure réglementaire ne permet pas de réduire les émissions au moindre coût. Un des résultats de notre recherche, présenté dans la section 4, sera pourtant de montrer que, dans le cadre de la problématique considérée, ce type d'instruments peut devenir intéressant, particulièrement lorsque un contexte international «défavorable» est explicitement pris en compte.

Les économistes accordent donc généralement leur préférence à des instruments agissant sur le marché, du fait de leur plus grande flexibilité et de leur faible coût pour la société dans son ensemble. Les instruments agissant sur les prix du marché comprennent par exemple les taxes sur les émissions, la tarification kilométrique des transports routiers,

27 Voir par exemple à ce sujet Mireille Chiroleu Assouline, (2007) « Efficacité comparée des instruments de régulation environnementale ».

les politiques de subventions ou de bonus-malus. Le marché connaît le surcoût ou l'avantage financier et s'adapte en conséquence. Il existe dans ce cas une incertitude sur la relation entre le montant de la taxe ou du subside et son impact sur les émissions.

Les instruments de marché agissant sur les quantités comprennent les permis d'émission, ces derniers pouvant être soit vendus soit distribués. Dans ce cas, l'incertitude se place sur le prix du droit d'émission. Dans le cas des permis d'émission de CO_2, ce prix dépend aussi de l'extension géographique du marché des droits d'émission, comme il sera vu dans la section 3 du présent rapport.

Les règles de responsabilité, importantes en cas d'accidents graves, sont peu significatives dans le domaine de la politique climatique.

TYPES DE MESURES	EXEMPLES	REMARQUES
Instruments réglementaires	• Normes de procédés • Normes d'émission • Contraintes	• Peu efficaces en termes de coûts • Impacts difficiles à estimer • Peuvent venir de l'évolution technologique • Peuvent bénéficier d'un effet de réseau
Instrument de type marché → par les prix	• Taxes • Subventions	• Incertitude sur le niveau d'émission final • Efficaces en termes de coûts
Instrument de type marché → par les quantités	• Quotas d'émission, distribués gratuitement ou mis aux enchères	• Incertitude sur le prix • Efficaces en termes de coûts
Règles de responsabilités	• Détermination de la responsabilité en cas d'accident	Peu utiles en politique climatique dans le domaine des transports
Coopération internationale	• Commerce de permis • Aide technologique	Effet de levier sur les autres types de mesures

Tableau 2.3 : Classification des instruments politiques

A cette classification sans doute très classique, nous rajoutons une quatrième catégorie, à savoir celle de la coopération internationale. Celle-ci peut prendre des formes diverses : accords multilatéraux à diverses échelles, aide à la gestion des retombées technologiques, voire des mesures de taxation aux frontières, une mesure parfois évoquée (ou plutôt brandie) comme remède ultime. Dans le cadre du contrôle des émissions de CO_2, nous verrons que la nature de la coopération internationale peut jouer un rôle capital d'effet de levier dans un sens ou dans un autre.

• 2.5 - CONSIDÉRATIONS MÉTHODOLOGIQUES

2.5.1 - EQUITÉ ET ACCEPTABILITÉ

Une mesure politique dans le domaine des transports ne peut se contenter d'être efficace du point de vue de la société dans sa totalité, elle doit aussi être efficiente, c'est-à-dire en plus tenir compte de manière explicite de son acceptabilité et accessibilité sociale, de l'équité dans la répartition de ses conséquences, et bien entendu des externalités générées.

Pour ce qui concerne l'équité, certains auteurs[28] ont proposé comme source de principes premiers un critère dérivé des travaux de John Rawls, plus précisément à partir de ce que cet auteur a dénommé le principe de différence :

« Les inégalités sociales et économiques doivent être organisées de façon à ce que, à la fois,

→ elles apportent aux plus désavantagés les meilleurs perspectives, et

→ elles soient attachées à des fonctions et à des positions ouvertes à tous, conformément à la juste égalité des chances ».[29]

Le critère de Rawls est focalisé sur le cas des agents les plus défavorisés. Il ne permet cependant pas de juger directement de l'équité de la plupart des mesures politiques. Un critère plus général consiste à associer des poids distributifs aux conséquences des politiques évaluées.[30] La problématique importante de l'équité et de l'efficience a animé certaines de nos discussions dans le cadre du *projet Carbone*, et une synthèse en est présentée dans l'annexe A du présent rapport. Les limites du critère de Rawls y sont exposées, accompagnées de quelques exemples d'application à différents types de taxes environnementales.

L'acceptabilité est quant à elle une donnée critique dans un secteur où, comme il vient d'être rappelé, les preneurs de décisions se retrouvent à tous les niveaux, et sont particulièrement sensibles aux principes fondateurs de liberté et d'égalité.

Il apparaît que l'acceptabilité devient de nos jours une partie intégrante des mesures proposées, et non plus une simple technique permettant leur passage ou éventuellement leur succès. En d'autres termes, ce critère doit être considéré le plus en amont possible lors d'une prise de décision. L'acceptabilité dépend fortement de la redistributivité des mesures, un aspect considéré dans le prochain paragraphe.

28 Voir par exemple Raux, C., Souche S.(2001) «L'acceptabilité des changements tarifaires dans le secteur des transports : comment concilier efficacité et équité »

29 Rawls J.,(1997) "Théorie de la justice, Seuil, p115.

30 Voir à ce sujet Mayeres, I., Proost, S. (2003), « Achieving equity through urban transport pricing» dans: de Palma A., Quinet E. (Eds.), La tarification des transports. Pourquoi? Pour qui? Les défis d'aujourd'hui et de demain Economica.).

2.5.2 - SUR LA REDISTRIBUTIVITÉ[31]

L'évaluation de l'impact de mesures de contrôle des émissions de GES comme la taxe carbone nécessite non seulement l'estimation de ses conséquences globales, mais aussi une connaissance de la structure de la répartition de l'effort demandé aux différentes composantes de la société. Pour cela, il est utile de partir de données prises en amont, afin d'identifier par des moyens d'analyse la nature même des catégories diversement affectées par ces mesures. Dans un but d'illustration d'une telle démarche, une étude basée sur les outils de l'économétrie a été entreprise dans le cadre du *projet Carbone* ; les résultats, présentés dans l'annexe B, sont ici brièvement résumés. Le premier objectif de ce travail a été de cerner les mécanismes conduisant à l'émission de CO_2 par les véhicules détenus par les ménages privés.

Les mécanismes ainsi identifiés sont au nombre de trois :

→ le choix du nombre de véhicules du ménage ;

→ le choix du type de carburant de chaque véhicule ;

→ l'intensité d'utilisation de chaque véhicule.

Un traitement statistique de données issues de l'INSEE a permis d'obtenir une première photographie des facteurs significatifs agissant sur chacun de ces mécanismes. Ainsi, le nombre de véhicules d'un ménage apparaît sans surprise comme dépendant de sa taille et de sa richesse, mais aussi de son type et de son lieu de résidence. Les tendances générales associées au choix du carburant sont plus délicates à décoder, d'une part du fait de données agrégées de manière inadéquate, d'autre part en raison de l'existence de différentes stratégies parmi les ménages : on constate ainsi que certains ménages choisissent de diversifier le type de motorisation de leurs véhicules. Quant à l'intensité d'utilisation, elle permet d'obtenir, dans les limites de notre étude, une première idée de la répartition des émissions de CO_2 suivant différentes caractéristiques. Parmi celles ci, relevons le patrimoine et la localisation, mais aussi le type d'habitat c'est-à-dire en zone rurale ou en petite ou grande ville. Une extensionde ce travail a pour but d'obtenir une estimation de l'impact des effets de mesures de taxation des prix du carburant.

2.5.3. - TAXATION DES CARBURANTS ET DIVERSITÉ DES COMPORTEMENTS[32]

La diversité des comportements des utilisateurs de véhicules privés a été soulignée dans le paragraphe précédent. Les réponses des différentes catégories identifiées à des mesures générales comme une taxation des carburants peuvent donc être variables. A terme, il serait fructueux de disposer d'un modèle analytique modulaire destiné à l'évaluation des politiques et des réglementations qui tiendrait compte de ces comportements hétérogènes.

31 Ce paragraphe constitue un résumé des travaux présentés dans l'annexe B « Equipement automobile, type de carburant, consommation et émissions de CO_2 des véhicules privés ».

32 Ce paragraphe consiste en un résumé de l'Annexe C « Fiscalité, congestion et émissions de CO_2 ».

Dans le cadre du *projet Carbone*, un premier jalon de ce programme a été entrepris. Un module analytique a été élaboré, qui permet l'analyse de l'impact d'une taxe sur le carburant, comme la taxe carbone, sur la congestion et les émissions de GES. Les autres externalités, comme les pollutions autres que les émissions de GES ou les accidents, sont ici ignorés. Ce travail est présenté dans l'annexe C.

Nos résultats montrent qu'une augmentation du prix de l'essence conduit à une diminution de la congestion, ce qui est prévisible. Mais cette diminution pourrait entraîner une catégorie d'individus fortement sensibles à cette congestion à parcourir plus de km. Pour peu que ces individus soient équipés de véhicules plus polluants, une augmentation de la taxe sur carburant pourrait donc conduire à une réduction moindre que prévu des émissions de GES. Pour éviter ce cas contreproductif, les utilisateurs des véhicules très polluants devraient être plus discriminés, par exemple via la mise en place d'une taxe supplémentaire sur les véhicules présentant des émissions élevées.

Une application numérique de ce modèle permet d'obtenir pour une population homogène une taxe optimale peu éloignée du taux actuel pratiqué en France. Cependant la prise en compte d'une population hétérogène, composée d'une catégorie rurale non affectée par la congestion et d'une catégorie urbaine affectée, permet d'obtenir des taux optimaux de taxation fortement dépendants de la proportion de la catégorie urbaine.

Une diminution couplée de la congestion et des émissions de CO_2 dans les grandes villes ne donnera des résultats efficaces que si les mesures de taxation des carburants sont accompagnées de mesures favorisant le report modal comme une tarification des transports urbains. La section 5 du présent rapport résume les travaux entrepris dans le cadre de ce projet sur la tarification urbaine, et sur son impact sur la réduction des émissions.

Une taxation des carburants instaurée sans mesures d'accompagnement n'apparaît donc pas comme un instrument fiscal efficace pour diminuer la pollution car elle ne permet pas de discriminer suffisamment en fonction du niveau de la congestion.

2.5.4 - INCERTITUDE ET COUVERTURE DES RISQUES[33]

L'incertitude associée au risque environnemental est une caractéristique dominante. Sa prise en compte conduit déjà les acteurs économiques à faire appel à des instruments de couverture, analogues à ceux couramment employés dans le secteur financier. Ainsi un producteur se prémunit des variations du prix des matières ou des taux de change par l'achat d'options à terme, lui permettant de réduire à un coût bien défini le risque associé. Le marché d'assurance des actifs environnementaux est actuellement en cours de développement. Parmi les instruments de ce nouveau marché figurent les permis d'émission associés au protocole de Kyoto[34], ou bien des couvertures permettant aux producteurs agricoles de se prémunir des intempéries.

33 La recherche décrite dans ce paragraphe est présentée dans l'Annexe D « Marché des Options et taxes anti-pollution »
34 Les cours quotidiens des permis d'émissions de CO_2 peuvent être consultés sur le site http://www.eex.com/en

Actuellement les marchés environnementaux sont organisés distinctement des autres secteurs. Les acteurs économiques sont ainsi amenés à se poser la question de l'optimisation simultanée de leurs actifs, économiques, financiers ou environnementaux.

Le travail réalisé dans le cadre du projet, présenté dans l'annexe D, a été de développer un modèle d'optimisation généralisé, intégrant les instruments de couverture permettant de se prémunir de risques de nature environnementale.

Un modèle global d'assurance a été développé, comprenant une couverture tant vis-à-vis des risques de nature économique que environnementale. Pour cela, une méthodologie dérivée de l'analyse financière de portefeuilles d'actifs a été généralisée, en y intégrant des actifs environnementaux. Une exigence de niveau minimum acceptable est demandée aussi bien pour la partie économique que pour la partie environnementale. En raison de l'incertitude, ces deux catégories d'actifs peuvent connaître des variations aléatoires. Les avoirs économiques se subdivisent en une trésorerie et des actifs économiques, qui peuvent prendre par exemple la forme d'actions. Le niveau minimum d'exigence requis est assuré par des produits de couvertures, ou produits dérivés. Ces instruments permettent de garantir le niveau minimum requis en échange d'une participation aux éventuels gains réalisés par rapport à ce même niveau.

La principale conclusion de ce travail est qu'un nouveau type d'instrument de couverture devrait être introduit, combinant directement les actifs économiques traditionnels aux actifs environnementaux. En favorisant la création de ce nouveau type de marché, les décideurs politiques contribueraient positivement à la prise en compte endogène des risques environnementaux par les acteurs du marché.

• 2.6 - CONCLUSIONS

Dans cette section, la problématique autour des émissions humaines des GES et de leur limitation a été rappelée, en mettant en évidence son caractère global et son impact sur le long terme. Nous avons repris une classification très générale des instruments politiques permettant de limiter les émissions selon leur type d'action. L'importance de la coopération internationale a été signalée, vu la nature du problème. La pertinence de ce dernier paramètre sera détaillée dans la section suivante, consacrée aux aspects macroéconomiques.

Nous avons aussi brièvement présenté une série de résultats et discussions issus de nos travaux de nature plus générale ou méthodologique. Nous avons ainsi rappelé que l'équité d'une mesure devait se mesurer avec des instruments capables d'intégrer la diversité de notre société. Par ailleurs l'examen de l'impact redistributif d'une mesure comme une taxation des carburants peut reposer sur une étude statistique élaborée des données disponibles sur les ménages français, mettant ainsi en avant les facteurs déterminants et la diversité des comportements. Nous avons aussi signalé l'importance

de l'accompagnement de mesures comme la taxation des carburants par des mesures permettant de tenir spécifiquement compte de la congestion urbaine, comme la tarification des déplacements et l'incitation vers l'utilisation de véhicules moins polluants.

Finalement, nous avons montré que les actions politiques efficaces peuvent aussi prendre des formes indirectes et structurelles. L'aide à l'établissement de nouveaux marchés intégrant directement les risques environnementaux, étudiés dans le cadre de ce projet en constitue un exemple.

3 | LA CLEF DE VOÛTE - UN REGARD GLOBAL[35]

3.1 - SCÉNARIOS DE POLITIQUE ÉCONOMIQUE AUTOUR DE L'OBJECTIF FACTEUR 4

Comme rappelé dans la section précédente, l'impact d'une mesure politique sur les émissions de CO_2 est étroitement lié à l'environnement macroéconomique. Cela est d'autant plus vrai pour un secteur du transport fortement couplé avec l'activité économique. Ce couplage reste significatif aussi dans le cadre de mesures ponctuelles ou géographiquement circonscrites. Puisque la France s'est engagée à réaliser l'objectif dit du facteur 4, c'est-à-dire à réduire ses émissions de GES d'environ 75% à l'horizon 2050, il est naturel d'étudier les conséquences d'une telle décision. Cela peut être accompli par l'examen d'une série de scénarios probables à l'aide de modèles adaptés. Les évolutions d'une série de paramètres peuvent ainsi être examinés. Parmi ceux-ci figurent le PIB, le volume d'emploi, ou le coût marginal d'émission d'une tonne de CO_2. Une telle manière de procéder est loin d'être originale; comme rappelé plus haut, une série d'études macroéconomiques ont déjà été réalisées avec cette optique, notamment dans le cadre des travaux des commissions Quinet et Rocard[36]. Par ailleurs une étude originale réalisée pour le compte du PREDIT, basée sur des techniques dites de « backcasting », a fourni des scénarios à rebours et une série de conclusions à partir de modèles de futurs possibles.[37]

L'étude macroéconomique réalisée dans le cadre du *projet Carbone* possède trois caractéristiques qui, à nos yeux, la distinguent des autres travaux :

→ elle utilise un modèle d'équilibre général spécifique, le modèle GEM-E3, qui est notamment utilisé par la Commission Européenne pour des études dans le cadre des négociations climatiques.

→ l'accent est ici mis sur la problématique autour de la coopération internationale, et de ses conséquences sur le prix des droits d'émissions sur la valeur du carbone.

→ une attention plus particulière est portée aux conséquences dans le domaine du transport.

Dans ce qui suit, l'outil de simulation GEM-E3 est brièvement présenté. La question de la coopération internationale est ensuite traitée, puisque sa contingence nous semble un facteur important. Les résultats des simulations autour des scénarios macroéconomiques font l'objet de la rubrique suivante.

35 La recherche décrite dans cette section est détaillée dans l'annexe E « Aspects macroéconomiques autour de l'objectif facteur 4 ».

36 Ces travaux ont été mentionnés dans la section précédente.

37 Crozet Y., Lopez-Ruiz H., Château B., Bagard V.(2008), « Comment satisfaire les objectifs internationaux de la France en termes d'émissions de gaz à effet de serre et de pollution transfrontières ? » Programme de recherche consacré à la construction de scénarios de mobilité durable. Rapport final PREDIT 11.

L'importance de l'extension géographique des marchés des permis d'émission nous est aussi apparue comme un facteur significatif; une rubrique lui est consacrée.

Quelques résultats plus détaillés dans le secteur du transport sont ensuite présentés.

Nous examinons aussi un scénario particulier où la France décide de réduire plus fortement ses émissions, en étudiant les conséquences possibles de la réallocation des revenus tirés par une telle démarche.

Notre attention se porte finalement sur certains aspects macroéconomiques autour de l'offre du pétrole, dont celui de la récupération de la rente de rareté et de la combinaison éventuelle d'une telle mesure de récupération avec une taxe Carbone.

• 3.2 - L'OUTIL DE SIMULATION MACROÉCONOMIQUE, LE MODÈLE GEM-E3

L'existence de plusieurs types de modèles macroéconomiques gérés par des équipes indépendantes est une bonne chose pour les décideurs. L'analyse contradictoire et comparative des hypothèses et résultats de différentes études est certainement l'aspect le plus utile dans un domaine aussi truffé d'incertitudes que celui de l'étude macroéconomique à long terme.

Le Modèle GEM-E3 ici employé est un des modèles de référence en matière macroéconomique, puisqu'il est donc notamment employé par la Commission Européenne dans le cadre de ses études climatiques.[38]

Il s'agit d'un modèle d'équilibre général représentant l'économie des 27 pays de l'UE ainsi que le reste du monde. Chaque économie est représentée à l'aide de 18 secteurs de production, d'un consommateur représentatif et d'un secteur public.

Les différentes économies nationales sont reliées par deux types d'échanges commerciaux : le commerce de produits et le commerce de permis d'émissions de GES (cf. Figure 3.1). Les exportations et importations dépendent des prix relatifs mais les produits des différents pays ne sont pas des substituts parfaits. Le marché de permis d'émission peut être défini pour n'importe quel groupement de pays. Pour cet ensemble de pays, le prix d'équilibre est unique.

38 Une description détaillée du modèle GEM-E3 trouve sur le site http://www.gem-e3.net/index.htm

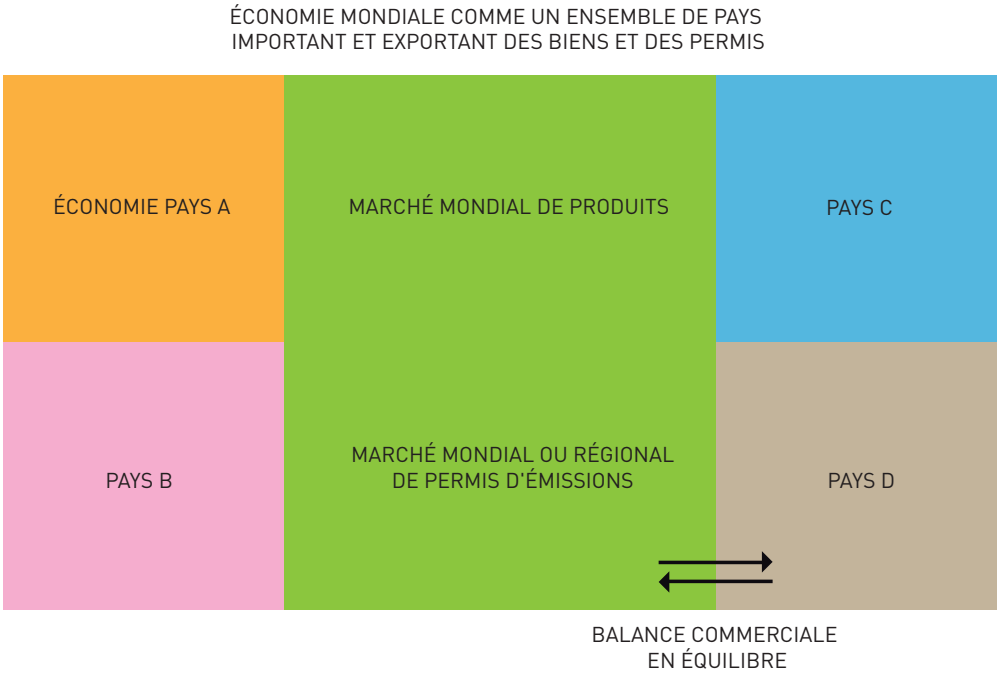


Figure 3.1 : Modélisation des échanges de l'économie mondiale dans GEM-E3

Deux versions du modèle ont été utilisées :

- La version Européenne, qui distingue les 27 pays composant à ce jour l'UE et travaille avec une période annuelle, typiquement sur plusieurs dizaines d'années.
- La version Mondiale quant à elle représente le monde segmenté en 20 régions, dont l'UE. Elle utilise une période de base quinquennale.

• 3.3 - DE LA CONTINGENCE D'UN ACCORD INTERNATIONAL

Pour une étude sur base de scénarios, le choix des hypothèses sous-jacentes retenues est évidemment fondamental.

La possibilité de ne pas disposer au niveau international d'un accord performant de limitation globale des GES est rarement discutée. Pourtant il s'agit à nos yeux d'une hypothèse plausible, que nous avons choisi de retenir comme une éventualité.

Une question se pose naturellement : pourquoi une coopération internationale efficace ne peut-elle se mettre en place même si une grande majorité des nations en comprend les enjeux ?

La réponse provient de la nature du phénomène : le changement climatique constitue ce que les économistes appellent un bien public pur (ou plutôt un mal public pur dans le présent contexte). Chaque tonne de GES émise par un pays donné aura un effet sur l'ensemble des pays du globe, ce dans un laps de temps pouvant s'étaler jusqu'à des centaines d'années.

En contrepartie, nulle région ne pourra se réserver les effets bénéfiques d'une limitation de ses émissions. Dans ce contexte, chaque pays se trouve « naturellement » incité à se comporter en passager clandestin[39], en clair à fournir un minimum d'efforts tout en comptant sur les efforts des autres.

Dans l'absolu, un accord international efficace est cependant bénéfique pour l'ensemble des pays, et pourtant un tel accord ne s'est historiquement réalisé que très rarement dans le domaine environnemental.[40] Le problème fondamental provient de l'absence de contrats véritablement contraignants entre états souverains. Il n'existe pas à ce jour d'équivalent à un tribunal pouvant obliger un état souverain à respecter un accord international.[41]

Scott Barrett[42] a dans ce cadre étudié les possibilités d'un accord auto contraignant via un modèle stylisé tiré de la théorie des jeux. Un accord auto contraignant signifie ici qu'un pays signataire a un intérêt *a priori* à en respecter les termes et donc ne trichera pas. Par contre un pays peut refuser de le signer.

Ce modèle peut être compris à l'aide d'un exemple simple, où 10 pays sont soumis à un dommage environnemental global. Il offre des résultats édifiants, illustrés par la figure 3.2.

Dans cette figure, l'abscisse représente la réduction unitaire dans un pays, l'ordonnée le coût de cette réduction.

La courbe dénommée MAC représente la fonction linéaire du coût marginal de réduction.

Le niveau BM désigne le bénéfice marginal.

Deux points se retrouvent sur ce graphique :

- Le point dénommé Nash, en référence à la notion d'équilibre introduite par le mathématicien éponyme, est associé à un équilibre non coopératif, correspondant à une situation sans aucun accord international. Chaque pays réalise ici un effort lui permettant d'atteindre un coût de réduction de GES équivalent au dommage marginal provoqué sur ce pays. Les dommages provoqués aux les autres pays sont ignorés. Du point de vue global, le point Nash correspond à une réduction totale se limitant à 10 unités.

- Le point dénommé « Accord International » correspond lui à une situation d'équilibre lorsqu'il existe un accord international auto contraignant. Cet équilibre est donc atteint lorsque 3 pays signent l'accord et s'engagent donc à tenir compte des dommages des autres signataires. En conséquence, ils réduisent leurs émissions de 3 unités. La réduction totale est donc égale à 16 unités d'émission, à savoir 3 pays x 3 unités + 7 pays x 1 unité. Dans ce cas de figure, il s'agit d'un équilibre stable. Les signataires n'ont pas intérêt à dénoncer l'accord, les non-participants n'ont pas intérêt à y entrer individuellement.

39 Nous employons ici un terme issu du vocabulaire de la théorie des jeux.
40 On lira à ce sujet l'ouvrage de Scott Barrett (2003), « Environment & Statecraft », Oxford University Press.
41 Ce point peut par exemple être illustré dans le contexte de l'Union Européenne par la difficulté chronique qu'à cette dernière à faire appliquer le pacte de Stabilité et de Croissance.
42 Scott Barrett (1994), « Self enforcing international agreements ».

Ces deux résultats sont loin de ce qui pourrait être obtenu par un accord général international idéal, comprenant tous les 10 pays (le point 10BM sur le graphique), à savoir une réduction de 100 unités. En effet, si les 10 pays tiennent effectivement compte du dommage marginal total de leurs émissions, le point 10BM correspond à un effort de réduction de 10 unités par pays. Cette situation n'est cependant pas stable : chaque signataire aurait individuellement intérêt à sortir de l'accord pour autant que les autres signataires y restent.

On constate donc que le point d'équilibre stable, solution naturelle en cas d'existence d'un accord international auto contraignant, conduit à un impact réduit de limitation des émissions. De plus, ce résultat d'équilibre avec 3 signataires reste valable lorsque un nombre quelconque de pays est considéré.

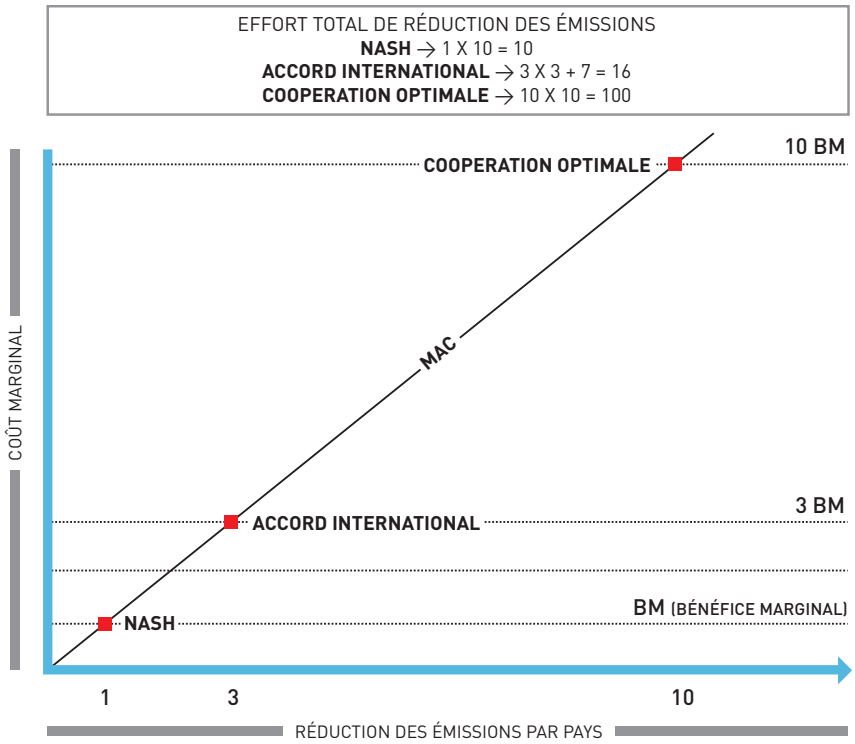


Figure 3.2 Effort de réduction de chaque pays signataire ou non à un traité portant sur la réduction des émissions

Le monde réel offre certes une autre complexité autre que celle de modèles simplifiés, et donc un accord international idéal n'est pas impossible. Ainsi, le protocole de Montréal, dont l'objet est d'éliminer la production de substances appauvrissant la couche d'ozone, est considéré par certains comme un exemple d'accord global relativement efficace. Cependant la problématique associée à ce dernier traité était beaucoup plus ciblée que celle du contrôle des émissions de GES. Par ailleurs, d'autres auteurs contestent fortement le caractère idéal de cet accord.[43]

43 Voir à ce sujet Murdoch, J.C. et Todd Sandler (1997) «The voluntary provision of a pure public good: The case of reduced CFC emissions and the Montreal Protocol.».

Un accord de coopération internationale des GES poursuit deux objectifs : d'une part augmenter l'effort total de réduction nécessaire et d'autre part en optimiser les coûts. Cet objectif de réduction de coûts est plus facilement atteignable, surtout lorsque les pays signataires de l'accord possèdent des caractéristiques économiques différentes. Dans ce cas en effet, les pays disposant de coûts de réduction des émissions les plus élevés peuvent acheter des permis d'émissions aux pays offrant des coûts d'émissions moindres. Un tel commerce est généralement avantageux pour toutes les parties et offre donc plus de chances de se réaliser.

Nous verrons plus loin comment l'extension géographique du marché de permis d'émission constitue un paramètre significatif pour la valeur du prix d'émission d'une tonne de carbone.

• 3.4 - SCÉNARIOS MACROÉCONOMIQUES AUTOUR DU FACTEUR 4

3.4.1 - INTRODUCTION

Après avoir défini à titre de comparaison un scénario dit « au fil de l'eau », c'est-à-dire pour lequel aucun effort de limitation des émissions de GES n'est entrepris, nous présentons les résultats des simulations de l'impact sur les coûts de réalisation de l'objectif facteur 4 en fonction de l'éventualité de l'existence d'une coopération internationale.

3.4.2 - SCÉNARIO AU FIL DE L'EAU

Ce scénario de base, identique a celui adopté par la Commission Européenne dans le cadre de ses études, ne comprend pas d'efforts particuliers en vue d'une réduction des GES. La croissance mondiale à l'horizon 2020 est de l'ordre de 3%. Le prix du pétrole est supposé croître, en termes réels, de 70 à 100$ le baril.

Un bref résumé des hypothèses sous-jacentes pour différents blocs géopolitiques est donné dans le tableau 3.1.

Il est important de remarquer que ce scénario ne tient pas compte de dommages éventuels associés au changement climatique. La nature de ces dommages éventuels ainsi que leur étalement dans le temps rend les chiffres obtenus fortement dépendants d'hypothèses sortant du cadre économique. Ils sont par ailleurs difficiles à intégrer dans les modèles d'équilibre.

2005-2020	CROISSANCE ÉCONOMIQUE	TAUX DE CROISSANCE DES ÉMISSIONS DE GES
EU 27	2%	1%
USA	3%	1.9%
Chine+Inde	5%	3.4%
Monde	3%	2.1%

Tableau 3.1 Hypothèses associées avec le scénario au fil de l'eau

Signalons cependant que le rapport Stern indique quant à lui une fourchette de dommages allant de 5 à 20% du PIB pour un scénario au fil de l'eau qui, pour Stern, correspond à terme à une concentration de 750 ppm de CO_2 dans l'atmosphère.[44]

3.4.3 - SCÉNARIOS AUTOUR DE LA COOPÉRATION INTERNATIONALE

Dans le tableau 3.2, nous rapportons les effets économiques de deux scénarios extrêmes : un scénario dit coopératif, dans lequel le monde entier collabore à la réduction des émissions, et un scénario non coopératif où seule l'UE réalise des efforts de réduction importants.

Dans le scénario coopératif le monde entier agit dans la direction de l'objectif facteur 4. A l'horizon 2050, les pays industrialisés réduisent leurs émissions de l'ordre de 80% par rapport au scénario au fil de l'eau : ceci implique en conséquence des réductions de l'ordre de 50% en 2030. Les autres grands blocs (Chine, Inde) promettent de fournir eux-mêmes des efforts importants de réduction à partir de 2030. De plus, ce scénario tient compte de l'existence d'un marché de permis d'émission dont l'extension géographique est mondiale à partir de 2020.

Il est important de rappeler ici que les estimations du coût économique considérées ici ne tiennent pas compte des dommages climatiques évités ; de ce point de vue il s'agit donc clairement d'une surestimation des coûts.

	SCÉNARIO «COOPÉRATIF»				SCÉNARIO «NON COOPÉRATIF»	
	2020		2030		2020	
	Coût Economique	Emissions GES	Coût Economique	Emissions GES	Coût Economique	Emissions GES
USA	-1.4%	-39.5%	-3,4%	-52,4%	0,0%	0,0%
UE27	-2.3%	-28.1%	-5,7%	-41,6%	-0,2%	-5,8%
Bresil	-0.3%	-4.8%	-1,5%	-15,0%	0,0%	0,1%
Inde	-0.9%	-0.6%	-1.6%	-23,3%	0,0%	0,0%
Chine	+0.3%	-25.9%	-0,8%	-32,8%	0,1%	-15,2%
Monde	-1.2%	-25.9%	-3,4%	-37,2%	0,0%	-3,6%
Prix du droit d'émission (US$2001/ tonne CO_2e)		45		93		6

Tableau 3.2 Effets macro-économiques d'un scénario coopératif et non- coopératif

Le scénario coopératif permet la réduction progressive des émissions de façon à atteindre une réduction mondiale de l'ordre de 37% en 2030, l'objectif étant donc d'une réduction globale de 50% en 2050. Le coût cumulé en est de 3.4% de PIB à l'horizon 2030.

44 Une revue des différentes modélisations des dommages peut être trouvée chez Geoffrey Heal (2008) , « Climate Economics : a Meta-Review and some Suggestions for Further Research ».

Ces résultats ne sont atteignables que moyennant l'existence d'un système mondial de permis négociables. Ainsi l'UE et les USA achèteront des permis en Chine dès 2020.

Pour le scénario non coopératif, il n'y a pas d'accord international global et l'UE limite ses efforts à une réduction de 20%, achetée en partie en Chine sous forme de permis d'émission. Ceci permet de réduire les coûts de l'UE, mais le résultat global en terme de réduction des émissions, 3.6% en 2020, est faible.

Notons aussi le prix des permis d'émissions résultant des deux scénarios considérés. Dans le scénario coopératif celui-ci se situe à 45 $ /tonne de CO_2[45] en 2020, croissant jusqu'à 93 $/tonne en 2030. Dans le scénario non coopératif il n'y a que l'UE qui achète des permis à la Chine ; leur prix tombe jusqu'à 6 $/ tonne. Le faible prix des droits d'émissions provient de la modestie de l'effort de limitation globale des émissions. Il y a peu de demande pour les permis.

Le prix d'un permis d'émission est égal au coût marginal de la réduction des GES pour le scénario considéré. Il peut donc servir comme valeur de référence pour la calibration d'une politique nationale dans les secteurs ne participant pas au système de permis, comme le secteur résidentiel, tertiaire et celui des transports.

• 3.5 - DE L'IMPORTANCE DE L'EXTENSION GÉOGRAPHIQUE DU MARCHÉ DES PERMIS D'ÉMISSIONS

Le scénario coopératif fournit un prix du permis d'émission de 93$/tonne à l'horizon 2030, dans l'hypothèse où un marché mondial de permis est instauré. Ces chiffres reposent sur de nombreuses hypothèses et sont entourés d'une large marge d'incertitude. La création d'un marché mondial de permis constitue un pré-requis important. Nous pouvons illustrer ce point à l'aide d'un exercice comparatif. Dans cette variante, le scénario coopératif suppose le commerce des permis d'émission limités aux « anciens » pays industrialisés, nommément l'OCDE et la Russie. L'effet sur le prix des permis d'émission et le bien-être est résumé dans le tableau 3.3.

2020 % DIFFÉRENCE AVEC LE SCÉNARIO AU FIL DE L'EAU	SCÉNARIO COOPÉRATIF AVEC MARCHÉ MONDIAL DE PERMIS		SCÉNARIO COOPÉRATIF AVEC MARCHÉ DE PERMIS RESTREINT AUX ANCIENS PAYS INDUSTRIALISÉS	
	Coût Economique	Emissions GES	Coût Economique	Emissions GES
USA	-1.4%	-39.5%	-1.43%	-47.4%
UE27	-2.3%	-28.1%	-2.42%	-34.4%
Bresil	-0.3%	-4,8%	-0.3%	+3.6%
Inde	-0.9%	-0.6%	-0.8%	+0.6%
Chine	+0.3%	-25.9%	-0.8%	+1.6%
Monde	-1.2%	-25.9%	-1.3%	-23.6%
Prix du droit d'émission (US$2001/tonne CO_2e)		45		74

Tableau 3.3 Impact d'une restriction géographique du marché des permis d'émission

45 Il s'agit ici de dollars actualises par rapport à l'année 2001.

La restriction du commerce de permis engendre donc une hausse de prix des permis de 80% (74$ au lieu de 45$) à l'horizon 2020. Cette restriction deviendra en principe encore plus contraignante au fil des années lorsque l'effort de réduction deviendra plus important.

Dans le cadre de l'objectif du facteur 4, l'extension géographique du commerce de permis d'émission permet d'obtenir à prix réduit de nouvelles sources de limitation des émissions.

• 3.6 - IMPACT DE L'OBJECTIF 4 DANS LE DOMAINE DU TRANSPORT

Le modèle de simulation permet d'obtenir quelques précisions sur les efforts nécessaires dans le domaine du transport. Ce dernier est en effet modélisé en deux sous-secteurs : d'une part le sous-secteur des services de transport, comprenant les transports de voyageurs et de marchandises, et d'autre part le secteur des équipements de transport comprenant la construction de voitures, trains, etc. La nature de ces deux sous-secteurs étant différente, la réponse aux efforts de limitation est aussi diverse, comme l'illustrent les résultats présentés dans le tableau 3.4.

VARIATION PAR RAPPORT AU SCÉNARIO AU FIL DE L'EAU	2030	2040	2050
Réduction des Emissions mondiales	-37%	-52%	-64%
Coût (% PIB)	-4.8%	-9.8%	-17.2%
Services de transport	-11%	-17%	-24%
Equipements de transport	-6%	-10%	-14%
Prix du permis négociable ($2001/tonne CO_2)	50	147	318

Tableau 3.4 Impact de l'objectif facteur 4 dans le domaine du transport

On constate que le secteur des services de transport connaît une baisse d'activité plus forte que celui des équipements de transport. Ceci provient du fait que des variables comme l'énergie fossile et le matériel de transport sont des entrées pour la livraison des services de transport. Quand des économies sont nécessaires au niveau de la consommation d'énergie fossile, il y a deux mécanismes en jeu. Le premier consiste en la substitution partielle des énergies fossiles via l'utilisation d'équipements de transports adaptés. Il y a donc dans ce cas une génération de production supplémentaire d'équipements de transport. Le deuxième mécanisme correspond à la diminution de la quantité de services de transport utilisée.

• 3.7 - TAXATION SPÉCIFIQUE ET AFFECTATION DES REVENUS

Dans le scénario coopératif discuté ci-dessus, nous avons supposé que le secteur des grands émetteurs est régulé à l'aide de permis d'émission négociables. Les émissions des autres secteurs sont quant à elles régulées à l'aide d'une taxe sur les émissions de carbone, analogue à la taxe carbone. Les revenus de cette taxe carbone sont redistribués via un transfert aux ménages.

La régulation des émissions au niveau des entreprises est en principe harmonisée au niveau de l'UE. La politique de limitation pour les autres secteurs (transport, résidentiel) est quant à elle du ressort des gouvernements nationaux. Il est possible que des disparités apparaîssent entre les politiques des différents pays de l'UE. Ceci nous a conduit à tester via un scénario spécifique les effets d'une politique française plus ambitieuse de réduction des émissions dans le secteur du transport et du résidentiel. Une telle politique pourrait se traduire par exemple par un relèvement du niveau d'une taxe carbone.

Le tableau 3.5 présente les résultats de cette simulation. Il montre l'effet sur les émissions et coûts en France d'une réduction supplémentaire des émissions dans ces secteurs (scénario « 2020+ »). Nous obtenons qu'une telle politique coûte plus cher à la France : la perte supplémentaire est de l'ordre de 1% du PIB. Une autre conséquence est que l'effort de l'industrie s'en trouve allégé, via une diminution du coût marginal d'émission (CM). Le mécanisme qui joue ici est le suivant : une réduction supplémentaire en France permet au reste de l'Union Européenne de limiter ses efforts, ce qui donne lieu à une diminution du prix des permis.

	2020	2020+
Total Emission CO_2	-19%	-25%
CM industrie (Euro/T)	61	59
CM autres (Euro/T)	152	278
PIB France PIB UE	-0.93% -1.94%	-0.63% -0.71%
CO_2 em. Industrie	-20%	-22%
CO_2 em. Autres	-17%	-26%
Equipement transport Services transports	-2% -3%	-5% -8%

Tableau 3.5 Scénario 2020+ : Impact d'un effort supplémentaire en France dans les secteurs du transport et du résidentiel

→ Affectation des recettes

Une telle politique génère des recettes fiscales importantes. Le choix de leur réaffectation n'est pas sans conséquences comme l'illustrent les résultats présentés dans le tableau 3.6.

	2020+ TRANSFERT AUX MÉNAGES	2020+ DIMINUTION COTISATIONS SEC. SOCIALE
Total Emission CO_2	-25%	-25%
CM industrie (Euro/T)	61	62
CM autres (Euro/T)	302	311
PIB France PIB UE	-1.55% -0.76%	-0.66% -0.63%
CO_2 em. Industrie	-22%	-21%
CO_2 em. Autres	-26%	-26%
Equipement transport Services transports	-3% -8%	-2% -7%

Tableau 3.6 : Influence de la réaffectation des recettes pour le scénario 2020+

Ce tableau reprend les résultats obtenus avec une variante du scénario 2020+. Si dans le scénario original, les recettes étaient restituées de manière forfaitaire aux ménages, dans cette variante elles sont affectées à une diminution des cotisations à la sécurité sociale. En conséquence, la perte de bien-être devient moins forte, le PIB diminuant de 0.66% au lieu de 1.55%. Ceci est un résultat attendu : les cotisations sociales constituent une distorsion (nécessaire) au marché de travail. Quand une recette fiscale supplémentaire se présente, il est préférable d'utiliser cette recette à une diminution de cette distorsion plutôt que de la reverser de manière forfaitaire à tous les ménages.

Il est à noter qu'il s'agit d'un résultat spécifique à certains pays européens comme la France, où les revenus sur le travail sont plus importants.

• 3.8 - REGARD MACROÉCONOMIQUE SUR L'OFFRE DE PÉTROLE

3.8.1 - LE PRIX DES PRODUITS PÉTROLIERS

Un effort de réduction des émissions des GES nécessite une réduction de l'utilisation des hydrocarbures et notamment du pétrole. Il est utile de se demander comment la politique climatique affecte le marché du pétrole.

L'historique des prix du pétrole depuis 1975 montre une alternance de périodes de prix relativement stables avec des périodes de plus grande volatilité. Il n'existe pas à notre connaissance de modélisation de ce comportement offrant une certaine prédictibilité. En résumé, les experts et les gouvernements n'en savent pas plus que le marché.

3.8.2 - PEUT-ON COMPRENDRE LE MARCHÉ DU PÉTROLE ?

Du point de vue de l'offre, L'OPEP apparaît comme un cartel peu cohérent et somme toute peu efficace : les fortes augmentations de prix n'ont jamais conduit à une maximisation de son profit à long terme. Par ailleurs les quotas de limitation que se sont imposés les producteurs n'ont pas été respectés.

Il reste cependant que certains producteurs (Arabie Saoudite, EAU) contrôlent les sources de production les moins coûteuses. Selon les travaux d'Hamilton[46], il semblerait que depuis quelques années, les producteurs bénéficient d'une rente résultant de la rareté perçue des ressources pétrolières. En d'autres termes, les augmentations récentes de prix ne sont pas uniquement dues à la spéculation.

Qu'en est-il effectivement de la rareté du pétrole? Il n'est pas toujours facile d'évaluer les réserves existantes : leur importance comptable dans les bilans des compagnies pétrolières n'arrange rien. Cependant, il existe des réserves significatives à des coûts d'extraction plus élevés. Et finalement, il existe des sources importantes dites non conventionnelles comme les schistes bitumeux, la conversion du charbon, etc.[47] Le coût de production de carburant via ces sources non conventionnelles se situe autour de 100 USD/ Baril. Il est à remarquer cependant que le coût environnemental associé à la production de ce pétrole alternatif est actuellement fort élevé. En définitive, il apparaît qu'il n'y a pas vraiment de risque de pénurie, mais bien d'une augmentation à terme du coût de production et des coûts environnementaux associés.

Deux questions sont ici examinées :

→ L'instauration d'une taxe sur le carbone permet-elle de récupérer une partie de la rente monopolistique perçue par les producteurs de pétrole ?

→ Est-il intéressant pour un état de s'isoler des variations brutales des prix du pétrole ?

3.8.3 - RÉCUPÉRATION DE LA RENTE DES PRODUCTEURS PÉTROLIERS VIA UNE TAXE CARBONE

Nous considérons d'abord le cas où le pétrole est une ressource considérée comme rare, avec une offre limitée, un coût de production quasi nul, et un seul pays importateur (monopsone). La rente de monopole du producteur peut être transformée en taxe à l'importation via l'instauration d'un droit d'accise par le pays importateur. Cette rente de rareté peut être récupérée entièrement via une transformation en recettes fiscales.

Ce point peut être illustré par les deux graphiques suivants :

46 James Hamilton, (2009) « Understanding crude oil prices ».
47 R F. Aguilera, R G. Eggert, G Lagos, J. E. Tilton (2009) «Depletion and the Future Availability of Petroleum Resources».

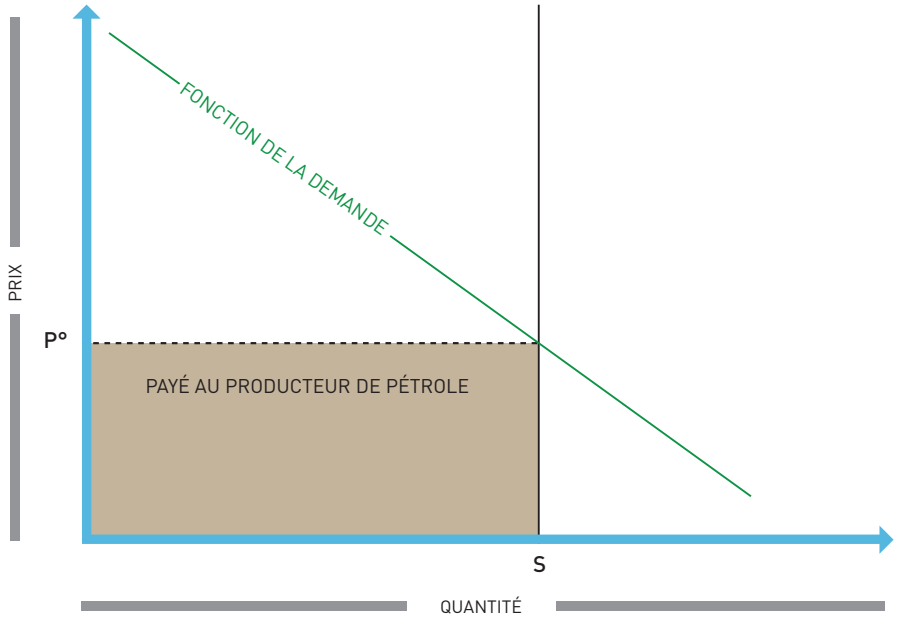


Figure 3.3 La rareté du pétrole conduit à une rente pour le producteur

La figure 3.3 illustre une situation ou le prix payé au producteur provient directement de la rareté du pétrole, limité au point S. Le producteur s'accapare une rente due à la rareté.

Dans le cas de la figure 3.4, l'instauration d'un droit d'accises équivalent à la rente de rareté permet de limiter la demande au même niveau que celui délimité par la rareté des ressources, et donc de transférer la totalité de la rente du producteur vers des recettes fiscales.

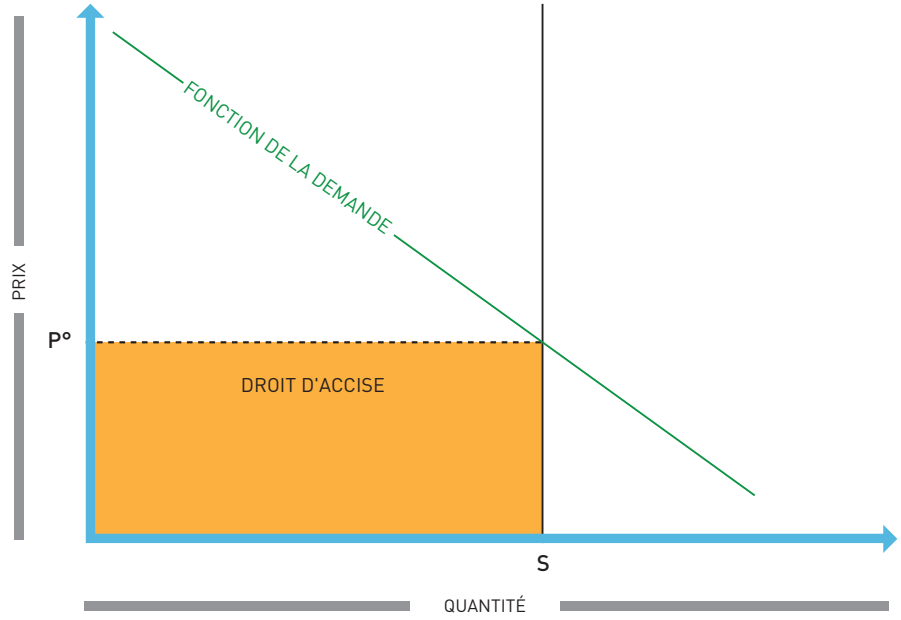


Figure 3.4 l'instauration d'un droit d'accises permet de récupérer la totalité de la rente de rareté en la transformant en recettes fiscales

En présence de plusieurs grands importateurs, la réappropriation de la rente de rareté a toujours lieu si les importateurs se mettent d'accord sur le droit d'accises. Il est à remarquer que cette analyse reste valable même si l'on considère des périodes temporelles plus longues.[48]

48 Cela peut est montré par l'emploi d'un modèle base sur la rente d'Hotelling. Voir à ce sujet Hotelling H. (1931) « The Economics of Exhaustible Resources ».

Cependant, pour une situation plus réaliste de non coopération internationale, l'imposition par un pays donné d'un droit d'accises conduit de fait à une réduction de la demande globale et donc du prix payé par les autres pays.

Dans les faits, il n'y a jamais eu d'accord entre les importateurs depuis la première crise pétrolière (1973). Certains pays, comme certains pays Européens ou le Japon, appliquent des droits d'accises très élevés, tandis que d'autres pays, comme les EU et la Chine imposent des droits d'accises très faibles.

Concernant un choix entre l'imposition d'accises à l'importation ou la mise en place d'une taxe carbone, il apparaît que la solution la plus apte à diminuer les émissions consiste à combiner les deux mesures. En effet, comme illustré par la figure 3.5, cette combinaison permet de limiter la consommation au niveau désiré, tout en captant la rente de monopole. Notons cependant qu'une condition nécessaire à l'efficacité d'une telle mesure est l'existence d'une coopération internationale. Comme il a été rappelé ci-dessus, une telle coopération n'a jamais existé, tant pour la taxe carbone que pour la taxe à l'importation.

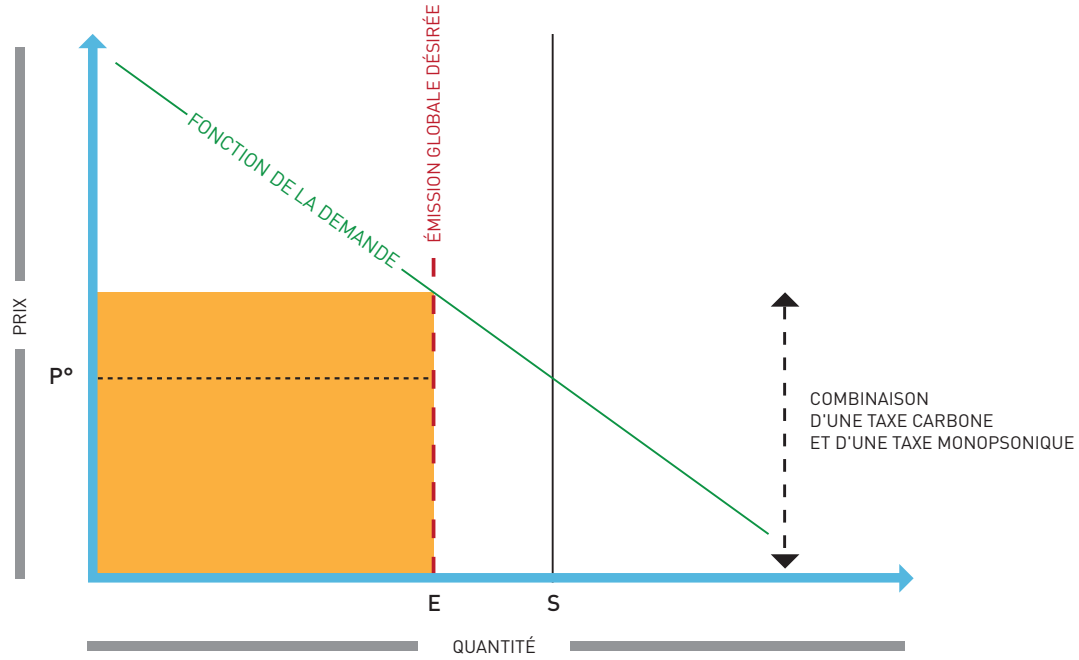


Figure 3.5 : Une combinaison d'une taxe monopsonique et d'une taxe carbone permet de limiter la consommation à la valeur désirée

Remarquons finalement que la question de la limitation des émissions de CO_2 se pose en des termes plus généraux et plus complexes que le cadre discuté ici. En effet, le pétrole n'est pas l'unique source d'émissions de GES. Le gaz et surtout le charbon sont aussi des émetteurs importants. Pour ces deux types de combustibles, une taxe limitant leur utilisation et permettant de récupérer les rentes de rareté serait aussi nécessaire.

3.8.3 - EST-IL INTÉRESSANT DE SE PRÉMUNIR DES VARIATIONS BRUTALES DES PRIX DU PÉTROLE?

Il est utile dans ce contexte de tenter de déterminer la source des fluctuations de prix. Parmi les causes fréquemment signalées, on note des erreurs d'estimation des réserves, des changements de régimes d'offre, ou la spéculation. En définitive, comme cela a déjà été signalé plus haut, il apparaît que ni les experts, ni les gouvernements n'ont actuellement plus d'informations que le marché.

L'instauration d'un mécanisme de stabilisation intérieure des prix pétroliers constitue un mécanisme apparemment attrayant, mais qui pose problème. En effet, d'une part une hausse permanente des cours sera difficilement répercutée sur le marché intérieur, d'autre part une baisse de cours internationaux entraînera des difficultés pour les industries consommatrices de produits pétroliers. L'expérience française en matière de stabilisation des prix pétroliers (instauration de la TIPP flottante entre 200 en 2002) va dans le sens de cette analyse.

• 3.9 - CONCLUSIONS

Les quelques scénarios économiques à long terme autour du facteur 4 présentés ici sont basés sur une série d'options que nous pensons importantes. Bien sûr, il s'agit d'être prudent dans l'interprétation des chiffres, et de garder en mémoire que ce sont les variations entre les scénarios qui offrent le plus d'intérêt.

Cela reste vrai même si certains de nos résultats s'avèrent proches de ceux obtenus de manière indépendante par les autres études macroéconomiques françaises réalisées dans le cadre des travaux des commissions Quinet et Rocard. C'est notamment le cas des coûts d'émission de la tonne de CO_2.

Nous avons mis l'accent sur l'éventualité d'une non coopération mondiale dans le domaine du changement climatique, en montrant que dans ce cas de figure les efforts promis par l'UE s'avéreraient coûteux, sans contribuer de manière significative à la limitation globale des émissions.

Une hypothèse sous-jacente à ce scénario est une structure de coopération (ou de non coopération) internationale basée sur le format du protocole de Kyoto, définissant des objectifs de résultats, via des seuils fixés à moyen et long terme, et offrant la possibilité de commercer des droits d'émissions. Comme nous l'avons vu, cette structure ne permet pas de décourager ce que nous avons baptisé le syndrome du passager clandestin.

Certaines études ont suggéré de tenter de limiter le phénomène en taxant aux frontières les biens de pays ne participant pas aux accords. Il est cependant difficile de mettre en place de telles barrières sans se heurter frontalement aux règles définies par l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC), et par la même occasion à la structure actuelle des échanges internationaux.

Certains accords internationaux dans le domaine de l'environnement ont parfois principalement agi sur les normes, ce qui peut être plus facilement acceptable pour l'OMC. Nous examinerons dans la section suivante l'efficacité comparée d'outils comme les taxes vis-à-vis des normes ; nous verrons à cette occasion l'importance d'une approche globale permettant d'en mesurer les conséquences.

Bien sûr, la définition de normes aptes à limiter de manière significative les émissions dans tous les secteurs concernés implique un effort important, notamment dans le domaine de la technologie.

Le résultat à nos yeux le plus significatif résulte dans l'incertitude supplémentaire introduite par les options de coopération internationale, alors que la problématique du changement climatique se distingue déjà *a priori* comme une riche source d'incertitude.

De manière générale, selon les scénarios suivis, il a été constaté que le prix du permis d'émission pourra varier du simple au triple. Le sous-secteur des infrastructures des transports sera en principe moins affecté que les services.

L'effet d'une demande et d'un coût d'énergie incertains est examiné plus en détail en section 6, dans une étude de cas dans le domaine des infrastructures de transport interurbain, à savoir le projet d'extension du canal Seine-Nord Europe.

Concernant l'impact du marché du pétrole, la possibilité de capter la rente de monopole des producteurs a été rappelée. Cela peut se faire via l'instauration d'une taxe nécessairement distincte d'une taxe carbone.

4 | SUR LES MESURES FISCALES ET LES NORMES[49]

4.1 - INTRODUCTION

Comme rappelé dans la section 2.4.1, la volonté de réduction des émissions de CO_2 dans le domaine du transport routier peut généralement conduire les pays concernés à la mise en place de différentes catégories de mesures politiques.

Une de ces catégories correspond aux mesures agissant sur les prix pétroliers. Elle comprend la taxation du prix des produits pétroliers, une mesure en pratique analogue à une taxe sur les émissions de CO_2 comme la taxe carbone.

Une autre catégorie porte sur les véhicules. Elle comprend l'adoption de mesures destinées à favoriser ou à forcer l'achat de véhicules avec des taux plus bas d'émission de CO_2 ou de GES. Ces mesures peuvent par exemple consister soit en des mesures fiscales, c'est-à-dire des mesures associées à une génération éventuelle de recettes ou de dépenses, soit par l'imposition de normes d'émission.

Il existe de nombreuses critiques quant à l'efficacité de la seconde catégorie de mesures, celles agissant donc sur le marché automobile et destinées à favoriser l'utilisation de véhicules dits « propres ».

En effet, l'augmentation de l'efficacité des véhicules entraîne la réduction de leur coût d'utilisation, donc à l'augmentation éventuelle de leur usage. Cela peut mener in fine à une réduction nettement moins élevée que prévue de la consommation. C'est ce que les économistes appellent l'effet de rebond.[50]

De plus, cette utilisation supplémentaire peut conduire à une aggravation des autres effets externes comme la congestion ou les accidents routiers. Ceci constitue un problème lorsque le dommage résultant de ces autres externalités n'a pas été pris en compte dans la tarification ou la taxation initiale associée à l'utilisation des voitures.

En outre, les recettes fiscales générées par une taxe sur les carburants peuvent être utilisées à bon escient, par exemple en permettant une diminution d'autres taxes plus inefficaces, comme celles sur le travail.

49 Les résultats présentés ci-dessous constituent un résumé de la publication « Automobile Fuel Efficiency Policies with International Innovation Spillovers », jointe dans l'annexe F.

50 Certaines études empiriques établissent que cet effet de rebond diminuerait jusqu'à 20% la réduction initiale de consommation. Voir à ce sujet Small K. and K. Van Dender, (2007) «Fuel efficiency and motor vehicle travel: the declining rebound effect.».

Il y a aussi bien entendu des arguments en faveur des politiques de voitures propres. Certains auteurs mettent l'accent sur la nécessité de venir en aide à des consommateurs peu à même d'estimer l'intérêt économique de ces voitures propres, cela pour des raisons liées au manque d'information, à l'incertitude sur l'évolution des prix pétroliers, voire même à l'univers mental restreint des consommateurs.[51]

Par ailleurs, les mesures politiques en faveur des voitures propres permettraient de combattre les variations de niveau d'efficacité des véhicules résultant des distorsions du marché automobile.

La taxation du carburant a quant à elle le mérite de s'attaquer directement au problème. En effet cette taxation permet en principe d'inciter à l'utilisation de véhicules moins gourmands[52]. Elle a aussi le mérite d'agir sur d'autres causes de consommation, comme le style de conduite ou le nombre de kilomètres parcourus.

En d'autres termes, la manière la plus simple et la plus juste d'internaliser les dégâts sur l'environnement des émissions de CO_2 semble consister en une taxation directe de cette émission. Les pollueurs payent donc au prorata de la pollution qu'ils génèrent.

Nous avons cependant signalé dans le paragraphe 2.5.3 comment une mesure isolée de taxation des carburants pouvait ne pas conduire à une solution optimale en présence de congestion.

Le travail ici présenté met cependant en avant des situations où l'adoption de politiques favorisant les véhicules propres peut aussi prendre du sens, en complément à la taxation des combustibles, suite à ce que les économistes qualifient d'« imperfections » sur le marché de l'innovation et de la recherche et développement (R&D).

Le point important de notre analyse est la prise en compte explicite de l'environnement international et de l'incertitude autour de l'éventualité d'accords internationaux dans le domaine de la réduction de CO_2, présenté dans la section précédente.

51 Les données empiriques sur ce sujet sont encore limitées et parfois contradictoires. Certaines analyses mettent en avant soit l'emploi par les utilisateurs de taux d'escompte implicites très élevés, soit une prise en compte limitée à trois années d'usage du véhicule propre. On consultera à ce sujet un document du National Research Council (2002), et Greene et al. (2005). D'autres auteurs, comme Dreyfus et Viscusi (1995) ou Verboven (2002), trouvent par contre des taux d'escompte implicites proches de ceux offerts pour les achats à tempérament de véhicules.

52 Notons cependant que de Palma et Kilani (2006) ont montré qu'une augmentation de la taxe sur les carburants pouvait conduire à une diminution du taux de renouvellement de la flotte automobile. Des véhicules moins performants continueraient ainsi à circuler et à consommer plus que nécessaire. Ces auteurs ont aussi examiné l'impact d'une prime à l'achat d'un véhicule neuf.

• 4.2 - LES RETOMBÉES TECHNOLOGIQUES

Les imperfections du marché de l'innovation proviennent d'un part de l'existence de politiques nationales distinctes de pays à pays, et d'autre part du franchissement des frontières de retombées de progrès technologiques réalisés à l'extérieur.

Ces retombées technologiques transfrontalières (international spillovers) peuvent prendre la forme de gains économiques dus à des avancées technologiques apparues hors des frontières nationales. Il apparaît en effet que les retombées d'une avancée technologique ne profitent pas uniquement à celui qui a investi dans son développement. De nombreuses études suggèrent en effet une contribution significative de la R&D étrangère à l'augmentation de la productivité domestique.[53] Ces imperfections correspondent donc à des effets de réseau non pris en compte par exemple dans la tarification des brevets et licences.

A notre connaissance, ce phénomène n'a jusqu'à présent jamais été analysé de manière formelle dans le cadre de l'industrie automobile. Pourtant les investissements en R&D de cette industrie représentent en 2003 environ 13% du total multisectoriel.[54]

Les retombées technologiques transfrontalières ont été modélisées dans notre étude en partant de l'hypothèse suivante : le coût moyen de production de véhicules vendus dans un certain pays dépend du niveau d'efficacité énergétique des véhicules vendus dans les autres pays. Plus précisément, il est supposé qu'une amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules dans un pays conduit à une réduction des coûts nécessaires à l'amélioration de cette efficacité dans un autre pays.

Un modèle à deux pays, usant de politiques distinctes a été construit. L'optimum économique est recherché, en tenant compte de l'impact environnemental et des retombées technologiques. Les politiques considérées consistent en une taxe sur le carburant et/ou une taxe de type véhicule propre. A noter qu'il peut s'agir de taxes négatives, donc de subventions le cas échéant. La taxe sur le véhicule propre se décompose en une partie fixe et une partie variable dépendant de la consommation du véhicule.

S'il n'est pas tenu compte des retombées technologiques, la solution optimale préconise l'adoption d'une simple taxe sur le carburant, seule à même d'internaliser le dommage provoqué par la consommation de carburant.

En présence de retombées technologiques résultant de l'implantation par l'autre pays de politiques de voitures propres, la situation change. L'application de mesures fiscales favorisant les voitures propres devient nécessaire pour parvenir à un optimum, en plus d'une taxe sur le carburant.

Ce résultat peut s'expliquer comme suit : une politique utilisant un cocktail de mesures plus orienté vers l'amélioration des performances énergétiques dans le pays A va induire plus de développements technologiques qu'une politique de taxation des combustibles.

53 Voir par exemple Coe D. et E. Helpman (1995) , « International R&D spillovers », Branstetter L. (1998), « Looking for international knowledge spillovers: A review of the literature with suggestions for new approaches », ou Cincera M. et B. Van Pottelsberghe de la Potterie (2001), « International R&D spillovers: a survey ».

54 Voir à ce sujet Hashmi et Van Biesebroeck (2007) « Market Structure and Innovation : « A Dynamic Analysis of the Global Automobile Industry ».

Ces surplus de développements technologiques vont percoler vers le pays B. Ce phénomène va donc amplifier l'effet global d'une politique de réduction des émissions dans un pays.

Ce processus de percolation se produit aussi lorsque la présence de compagnies automobiles distinctes est prise en compte. En effet, le coût des brevets ne compensera pas totalement les progrès technologiques obtenus grâce à la politique favorisant les voitures propres adopté par les pouvoirs publics du pays A.

En conséquence, le pays B se verra contraint lui aussi à adopter une politique en faveur des véhicules propres, s'il désire réduire ses émissions.

En effet, si le pays B ignore ces retombées technologiques et utilise uniquement l'arme de la taxation directe des produits pétroliers, il risque de rater son objectif : les véhicules de B, rendus plus efficaces grâce aux retombées technologiques de A, souffriront moins de la taxation directe et émettront davantage que l'optimum souhaité.

• 4.3 - PRISE EN COMPTE DES SCÉNARIOS DE COOPÉRATION INTERNATIONALE

Deux scénarios de situation internationale présentés dans la section précédente de ce rapport ont été considérés : d'une part un scénario considérant une coopération supposée efficace entre états souverains, comprenant éventuellement des transferts entre les pays, et d'autre part une situation sans coopération internationale efficace.

Dans ces deux cas de figure, la combinaison des 2 catégories de politiques, la taxation des produits pétroliers associés à des mesures favorisant les véhicules propres, permet d'obtenir l'optimum économique.

En conclusion, même si les Etats ne parviennent pas à coordonner efficacement leurs politiques en matière de limitation des émissions, l'instauration d'une mesure fiscale de type voiture propre en plus d'une taxe sur le carburant peut constituer une approche efficace permettant d'influencer aussi les émissions étrangères.

• 4.4 - VOITURES PROPRES : MESURES FISCALES OU NORMES ?

Dans le but de réduire les émissions, certains pays ont choisi d'imposer des normes aux constructeurs plutôt que d'utiliser des instruments fiscaux. Notre étude s'est aussi intéressée à la question de la coordination éventuelle des politiques nationales dans le cas de l'imposition de telles normes sur les véhicules. Un résultat intéressant a été obtenu : si un accord international n'est pas possible, une adoption simultanée de normes faibles peut conduire à un bénéfice inférieur par rapport à un déphasage temporel entre les dates d'adoption de mesures par les différents pays concernés. Ce déphasage permet aux états concernés de mieux prendre en compte les retombées technologiques transfrontalières.

Une sorte de cercle que l'on espère vertueux s'installe entre les différents états. L'avantage de ce déphasage temporel réside donc dans le fait que le pays « suiveur » a le temps d'apprécier et de tenir compte des effets induits par le pays initiateur de la norme. Dans le cas d'une adoption simultanée, les efforts seront plus faibles.

• 4.5 - UN EXEMPLE : LES NORMES D'ÉMISSION EN CALIFORNIE

Le modèle développé a été calibré de manière à simuler un exemple pratique. Dans l'exemple choisi, le pays A représente l'état de Californie. Le pays B comprend le reste des Etats-Unis et le Canada.

Cet exemple n'est pas pris au hasard : La Californie a en effet récemment adopté une série de normes destinées à réduire de 30% ses émissions de GES.[55] Certaines de ces normes concernent le transport automobile. Un calage simple mais robuste a été entrepris sur cet exemple. Le but a été d'estimer l'ordre de grandeur des effets considérés.

Trois remarques peuvent être tirées de cette étude :

→ Le degré de sévérité des normes de l'Etat de Californie devrait tenir compte de l'impact mondial de ses émissions.

L'impact des émissions californiennes sur son propre territoire est en effet fort réduit, et ne justifie donc pas en lui-même l'adoption de normes. L'impact mondial des émissions californiennes est par contre tout à fait significatif et doit donc être pris en compte si l'on veut pouvoir expliquer le comportement de la Californie.

→ Si les mesures californiennes n'ont aucune influence sur les taux d'émissions fixés ultérieurement par le reste de l'Amérique du Nord, la fixation de normes strictes a beaucoup moins de sens.

Seule la réduction de consommation induite dans les autres états est significative pour l'établissement du niveau de la norme. S'il n'existe aucun effet d'induction, le dommage environnemental ne doit que très peu entrer en ligne de compte lors la fixation de la norme.

→ Si par contre les mesures Californiennes ont un effet sur les taux d'émissions du reste de l'Amérique du Nord, le gain environnemental devient significatif.

Ce dernier point peut expliquer les normes ambitieuses adoptées par la Californie. De fait, au début de l'année 2009, un certain nombre d'états américains ou canadiens se sont engagés à adopter des mesures similaires aux mesures californiennes.[56]

Il reste bien entendu nécessaire d'évaluer l'influence des retombées technologiques comme paramètre de couplage dans ce cas précis. Il est cependant intéressant de constater que ce modèle simple permet déjà une analyse fine d'une corrélation entre une politique nationale de l'environnement et celle des voisins.

55 Voir http://www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/lcfs.htm.
56 Voir par exemple http://www.greencarcongress.com/2009/01/eleven-northeas.html

• 4.6 - CONCLUSIONS

Dans un monde parfait, une combinaison d'une taxe sur le carbone avec une taxe sur la congestion permet d'obtenir les meilleurs résultats, c'est à dire le coût minimal pour un objectif de réduction de GES donné. L'utilisation de normes de consommation sur les voitures conduit de manière générale à une augmentation des coûts.[57]

Dans une représentation plus réaliste de l'environnement international, où il n'existe pas de certitude quant à l'existence d'un accord de coopération pour la réduction des GES, les normes de consommation et de développement technologique deviennent par contre des instruments utiles à l'atteinte des objectifs.

La France présente certaines analogies avec la Californie, une des régions les plus dynamiques du continent nord-américain. L'instauration de normes ambitieuses conjointement avec la taxe carbone pourrait donc aussi entraîner un effet de réseau au niveau européen.

57 Combes F., A. de Palma, S. Proost (2009) « Environmental pollution, congestion and imperfect competition in the car market ».

5 | REGARD SUR L'URBAIN

5.1 - INTRODUCTION

L'exigence en matière de réduction des émissions de CO_2 implique sa prise en compte à tous les niveaux de la société. Tous les instruments susceptibles de fournir une limitation doivent être considérés, y compris ceux ayant une action locale. En effet, comme nous venons de voir dans la section précédente, les effets de réseau facilitent la propagation d'instruments dont l'efficacité aura été reconnue. Il s'agit là d'une piste prometteuse de réduction des émissions. Ces instruments locaux peuvent contribuer à faire face au défi supplémentaire posé par la difficulté d'instauration d'une coopération internationale efficace.

Si certaines mesures permettant la limitation des émissions de GES s'avéraient bénéfiques du point de vue économique, grâce à une amélioration du bien-être général, elles offriraient au décideur des instruments susceptibles de conduire la condition idéale dite du double dividende, analogue au double dividende fort rapporté notamment dans les travaux de Combet et al.[58]

D'une manière plus générale, le décideur est d'ailleurs particulièrement intéressé par toute mesure « réaliste », c'est-à-dire satisfaisant à des critères d'équité, d'acceptabilité et d'accessibilité, et capable aussi de surpasser les performances du marché. Ce type de mesure est susceptible de générer des bénéfices environnementaux à un coût moindre que le coût moyen d'une limitation nécessaire, ce dernier étant défini par la valeur tutélaire du carbone.

Les mesures de tarification du péage urbain appartiennent clairement à cette catégorie. Même si leur mise en place effective ne s'est jusqu'à présent pas trouvée justifiée par la nécessité de réduire les émissions, le fait est que ces mesures visent à une réduction du trafic automobile, et donc conduisent en principe à une réduction des émissions. C'est ce que nous avons voulu notamment confirmer dans le cadre du projet.

De plus, les résultats des travaux présentés dans la section 2.5.3 confirment l'intérêt d'un couplage de mesures comme la taxation des carburants à des mesures visant spécifiquement la réduction de la congestion. Un tel couplage conduit en effet à une réduction plus efficace des émissions.

Dans cette étude, il est non seulement tenu compte des effets directs suite à l'instauration d'un péage urbain, mais aussi des conséquences à long terme, via la modification des formes urbaines dues à la tarification. En effet, à long terme, les habitants tiennent compte de la présence d'un péage lors de leur éventuel déménagement. Cette réorganisation de l'habitat peut aussi avoir un impact sur les émissions résidentielles : les variations de prix fonciers suivant la localisation ont une influence sur la taille de l'habitat et donc sur ses besoins en énergie.

58 Combet E., Ghersi F., Hourcade J.C., Thubin C., (2009), « Economie d'une fiscalité carbone en France ».

Un outil de simulation original été développé dans le cadre de ce projet. Basé sur un modèle monocentrique et tenant compte de la congestion, il permet l'évaluation des conséquences économiques à court et long terme d'une introduction d'un péage urbain. Les nuisances provoquées par les embouteillages y sont donc explicitement prises en compte. Le nombre de kilomètres parcourus par véhicule, une variable directement proportionnelle aux émissions de CO_2, constitue une variable de sortie du modèle. L'impact sur les émissions peut donc être obtenu.

Deux types de conséquences ont été considérées : d'une part les conséquences immédiates résultant du renchérissement des parcours, et d'autre part les effets à long terme induits par une réallocation des habitants : en effet, cette réallocation conduit elle aussi à une variation des kilomètres parcourus.

La méthode adoptée ici, basée sur un modèle monocentrique, est restrictive sur certains points. Elle ne tient notamment pas compte des déplacements de loisir, de la diversification des moyens de transports, et du covoiturage. Il s'agit là pourtant de caractéristiques dont l'importance augmente.

Tenir compte de ces différents aspects rend cependant la modélisation très compliquée, et aucun modèle analytique n'est actuellement utilisable dans cette perspective. En dépit de ces nombreuses limitations, le modèle monocentrique permet toutefois d'obtenir une forme urbaine acceptable au niveau agrégé, notamment au niveau de la densité urbaine en fonction de la distance par rapport au centre ville.

L'absence de transport collectif est une des limitations les plus sérieuses du modèle. C'est pourquoi une extension permettant d'étudier l'impact des transports en commun sur le développement de la ville a aussi été développée. En effet, même si la majorité des déplacements s'effectuent toujours en voiture privée, les transports collectifs jouent un rôle important au niveau de la mobilité des ménages et ont un impact sur le choix de localisation. Le modèle que nous avons développé cherche à expliquer l'interaction entre l'infrastructure du transport collectif et la forme de la ville. Cela permet en même temps d'évaluer l'impact du service de transport collectif sur le niveau des émissions de CO_2.

Une application pratique sur la région Île-de-France a été réalisée. Dans ce qui suit, nous présentons le modèle, son application et les résultats obtenus.

• 5.2 - LE MODÈLE MONOCENTRIQUE[59]

Notre analyse se base sur un modèle de ville dit monocentrique, dans lequel tous les emplois se trouvent au centre d'affaires (CBD), et les résidents transitent depuis la périphérie. Les déplacements quotidiens des ménages ici considérés sont du type domicile-travail.

Le modèle monocentrique n'a certainement pas pour ambition de représenter exactement le logement et le transport d'une région comme l'Île-de-France. Ainsi l'existence d'un seul centre d'affaires, d'un seul moyen de transport, de foyers aux revenus identiques, ou la supposition que le seul attrait d'un habitat parisien provient de la proximité des emplois sont des hypothèses pour le moins réductrices. Dans le cas de la région Parisienne prise ici en exemple, des sous-centres d'affaires sont apparus en région péri-urbaine ces dernières années. Ils ne peuvent donc être directement considérés dans le cadre du modèle monocentrique.

Comme déjà signalé, ce modèle offre cependant le grand avantage d'être résoluble.

Deux acteurs y figurent : l'ensemble des ménages, dont le bien-être croît avec la surface de l'habitat, et un Gouvernement, qui décide de la fraction du territoire devant être allouée au transport routier.

Le Gouvernement collecte une taxe fixe pour chaque habitant, ainsi qu'une taxe dépendant de la distance entre l'habitation et le centre des affaires.

Dans cette première version, il n'existe qu'un seul mode de transport routier. Les embouteillages conduisent à la nécessité d'une régulation gouvernementale. Par ailleurs, tous les ménages perçoivent un salaire égal.

Les variables suivantes sont prises en compte :

- Le rayon de la ville.
- Les kilomètres/véhicule moyens parcourus par jour. Cette variable peut raisonnablement être considérée comme proportionnelle aux émissions de CO_2.
- La surface d'habitation.
- La surface du réseau routier.
- Le temps consacré aux trajets.
- Une fonction d'utilité, que le ménage cherche à maximiser. Cette variable dépend de la surface habitée, des biens de consommation achetés. Le revenu disponible est donc dépensé en logement, transport et biens de consommation.

Le prix de l'habitat résulte d'un équilibre entre l'offre de terrain disponible et la demande de logement des ménages. Une rente foncière est ainsi obtenue. Elle dépend négativement de la distance par rapport au centre ville.

Le modèle monocentrique est particulièrement difficile à résoudre lorsqu'on tient compte de la congestion routière. Pour le *projet Carbone*, nous avons élaboré une méthode

59 L'annexe G « Modèle monocentrique et son application » détaille le modèle monocentrique ici présenté.

numérique originale, qui permet de remplacer les conditions d'équilibre par un système d'équations différentielles rétrogrades. Ce dernier système peut être intégré au moyen de techniques numériques classiques.

Cet algorithme de résolution s'adapte facilement à différents schémas de péages routiers. Comme situation de référence, nous avons considéré un coût de transport qui reflète le coût d'usage du véhicule sans péage routier, ce qui correspond à la situation actuelle.

Trois scénarios basés sur différents types de tarification ont été confrontés à la situation de référence :

• Un péage linéaire, c'est-à-dire proportionnel à la distance parcourue. Ce type de péage peut être assimilé à une taxe supplémentaire sur le carburant.

• Un péage cordon, prélevé lorsque l'on rentre dans une certaine zone, circulaire dans le cas de notre modèle. Ce type de péage est par exemple en application à Oslo. Pour ce type de péage, la valeur de la taxe et le rayon de la zone de péage sont optimisés .

• Un péage optimal, où chaque ménage paye exactement le coût externe qu'il génère en terme de congestion. Il s'agit d'une solution théorique idéale, permettant la comparaison avec les scénarios réalistes.

• 5.3 - APPLICATION À L'ÎLE-DE-FRANCE[60]

5.3.1 - LES RÉSULTATS

Le tableau 5.1 synthétise les résultats obtenus par l'application du modèle à la région Île-de-France. Il fournit donc une description de la ville correspondant aux différents scénarios considérés. Comme nous l'avons signalé plus haut, la tarification optimale, fort difficile à mettre en oeuvre en pratique, est utilisée à titre de référence. Nous discutons ci-dessous la situation induite par chacun de ces schémas de tarification.

Catégorie de Péage	Rayon de la ville (km)	Surface moyenne de logement (m2)	Kilomètres/ véhicule (km)	Surface du réseau routier (ha)	Temps de parcours (mn)	Surplus économique annuel (€)	Réduction émissions de C02 (%)
Pas de péage (Scénario de base)	73,4	84,2	22,1	7 539	37,7	0	0 (base)
Péage Cordon	55,6	84,9	19,6	6 482	33,9	181	11
Péage Linéaire	46,2	81,4	18,7	6 042	32,7	271	15
Péage Optimal	48,7	83,1	18,7	6 040	32,7	286	15

Tableau 5.1 Résultats de l'application du modèle monocentrique au cas de l'Île-de-France

60 L'annexe G-1 « Congestion pricing and long term urban form: Application to Île-de-France » reprend une publication dont le présent paragraphe est un résumé.

→ Scénario de base (sans péage urbain)

Ce scénario a servi au calage du modèle. Les conducteurs n'y subissent que les coûts d'exploitation de leur véhicule, et les inconvénients dus aux embouteillages. La région urbaine s'étend sur un rayon de 73km, ce qui correspond au rayon actuel de l'Île-de -France. Il est à noter qu'une grande partie de la région urbaine se situe dans un rayon de 40km.

Concernant les émissions de CO_2, en tenant compte d'un taux d'émission moyen de 153g/km, le total obtenu est de 3.3 Millions de tonnes de CO_2 émis par an.[61]

→ Le péage optimal

Le péage optimal conduit à une ville particulièrement dense. La réduction de la taille de la ville est de 34%, celle des kilomètres/véhicules de 15%. La réduction des embouteillages (ou des temps de parcours) est de 13%.

La surface habitée par ménage ne se contracte que très légèrement alors que la densité de population est plus grande : suite à la réduction des embouteillages, la surface consacrée au transport routier peut en effet être diminuée.[62]

Avec le péage optimal, le budget du gouvernement est en équilibre, le montant des taxes récoltées couvrant le coût du terrain consacré aux transports.

→ Le péage linéaire

Sous ce régime, chaque ménage consacre 210€/km de plus par an pour leurs trajets journaliers, par rapport au scénario de base, ce qui constitue une augmentation importante des dépenses. La taille de la ville se réduit de 37%. Les kilomètres/véhicules sont eux réduits de 15%, ce qui entraîne une réduction équivalente des émissions de CO_2.

Un des inconvénients de ce type de péage est qu'il entraîne une réduction significative de la surface habitée bien plus importante que ce qui constaté dans les autres cas de figure étudiés.

La surface totale habitable augmente par contre très légèrement. Cela résulte du fait que la perte du surface résultant de la diminution du rayon de la ville est plus que compensée par la réduction de la surface de territoire consacrée au transport.

61 Ce chiffre, qui correspond aux émissions provenant uniquement des déplacements domicile-travail, ets à comparer avec un chiffre total de 14.4 Mt pour 2000, voir http://www.airparif.asso.fr/emissions/emisidf.php

62 Il s'agit d'un résultat connu : l'absence d'une tarification de la congestion conduit à un surinvestissement dans les infrastructures routières. Voir Arnott, R. , de Palma, A., Lindsey, R. (1993),. «A Structural Model of Peak-Period Congestion: A Traffic Bottleneck with Elastic Demand».

→ Le péage cordon

Dans ce cas de figure les conducteurs payent donc une redevance lorsqu'ils rentrent dans un périmètre donné. Le modèle détermine le montant optimal de cette redevance ainsi que le rayon du périmètre, de façon à optimiser la fonction de bien-être.

Dans le cas de l'application à l'Île-de-France, le rayon optimal du périmètre est de 22km, le montant de la taxe étant de 22.5€/jour. Cette règle conduit les habitants à résider à l'intérieur du cordon, de manière à éviter le paiement de la redevance.

Par rapport au scénario de base, ce type de péage entraîne une réduction du rayon de la ville de 24%, la réduction des kilomètres/véhicule étant de 11%. La durée des trajets diminue de 10%.

L'avantage du péage cordon est double. D'une part, il offre une relative facilité de mise en place par rapport aux autres options, d'autre part il cible bien les déplacements domicile-travail, déplacements caractérisés par un coût externe important. Les trajets s'effectuant hors de la zone cible ne sont pas affectés.

→ Et en synthèse

La tarification linéaire apparaît au premier abord comme une option intéressante, conduisant à un surplus de bien-être important et à une réduction optimale des émissions de CO_2. Toutefois, l'intérêt de ce scénario, qui peut être mis en pratique via une taxe sur le carburant, résiste mal à l'analyse. D'une part, l'augmentation nécessaire du prix du carburant conduira dans le cas présent à un prix environ quatre fois supérieur à la valeur actuelle, ce qui entraînera une opposition forte des usagers. D'autre part, cette taxation ne tient compte que de la distance parcourue, et non de l'origine et de la destination. Elle ne permet pas la discrimination entre un trajet urbain et un trajet rural conduisant à moins d'externalités.

Le péage cordon offre donc à nos yeux le meilleur compromis entre efficacité économique et simplicité de mise en place.

5.3.2 - VARIATION DES DENSITÉS D'HABITATION À LONG TERME

Le graphique ci-dessous représente la densité de l'habitat en fonction de sa distance par rapport au centre de la ville pour les 4 cas de figures considérés.

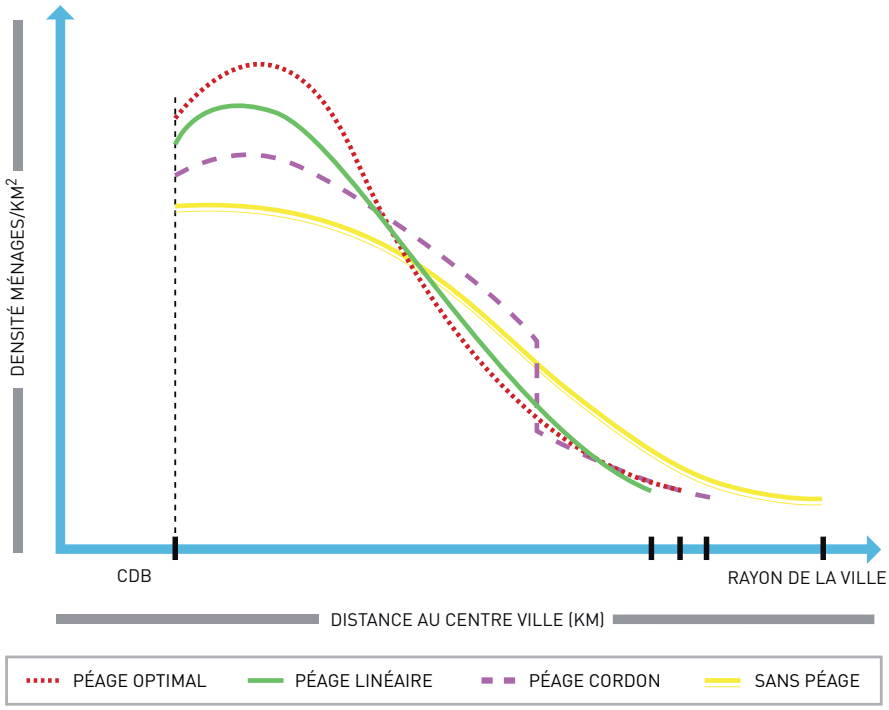


Figure 5.1 Densité de l'habitat en fonction de la distance pour les différents types de péage

Le terme CBD désigne le centre d'affaire, le lieu où se concentrent les emplois. Les différentes politiques agissent de manière assez comparable : une réduction du rayon de la ville est accompagnée d'une augmentation de la densité de la population au centre. La brusque chute de la densité associée au péage cordon se produit à la distance correspondant au périmètre du péage cordon.

Un graphique de la rente foncière, associée au prix de loyers, suivrait la même tendance.

5.3.3 - ETUDES DE SENSIBILITÉ

Par ailleurs, des études de sensibilité sur certains paramètres ont été réalisées.

Une augmentation des embouteillages conduit à une augmentation de la taille de la ville et des émissions de CO_2 pour tous les cas de figures, sauf pour le péage optimal. Une compétition entre l'augmentation des loyers et le prix du transport s'installe.

Une augmentation du paramètre relié à la préférence pour l'habitat conduit à une augmentation de la taille de la ville, et aussi de la surface habitée. A noter que la croissance de la surface habitée est plus significative lorsqu'un péage est présent, suite à la récupération des terrains initialement destinés au transport.

5.3.4 - IMPACT SUR LES ÉMISSIONS DE CO_2

En l'absence de tarification de la congestion, l'étalement urbain contribue de manière significative à l'augmentation du niveau des émissions de CO_2, puisque les véhicules/kilomètre augmentent. Comme le montrent les résultats illustrés sur le tableau précédent, une diminution du niveau des émissions allant jusqu'à 15% est possible grâce à l'instauration d'un péage. Remarquons que ces gains s'obtiennent uniquement à travers la réduction des véhicules/kilomètre. Autrement dit, on ne tient pas ici compte des gains dus au chauffage des résidences de taille plus réduites. Il n'est aussi pas tenu compte du changement de mode de déplacement qui peut suivre la mise en place d'un système de péage urbain. En particulier, dans la région Île-de-France, où les transports de masse sont principalement alimentés par de l'électricité d'origine nucléaire, leur usage est synonyme de gain en termes d'émissions de CO_2. Ainsi, un tel changement de mode devrait conduire à une diminution encore plus importante des émissions de CO_2. Ce point est abordé par la suite.

Tous les scénarios considérés conduisent à une diminution significative des émissions couplée à une augmentation du bien-être. Une valorisation de ces émissions évitées permettrait de renforcer si besoin était l'intérêt économique de ce genre de mesure.

• 5.4 - SIMPLE CORDON VERSUS MULTI-CORDON[63]

Étant donné la pertinence du péage cordon, nous avons cherché à évaluer l'impact d'une option plus générale à savoir le multi-cordon. Dans cette situation, l'usager sera amené à passer un ou plusieurs péages cordons suivant sa position initiale

La difficulté réside ici dans la procédure d'optimisation. En effet, il s'agit de trouver les meilleures localisations des cordons ainsi que les valeurs optimales de péages à appliquer a chacun.

Le même modèle monocentrique, calé initialement sur la région Île-de-France, a été utilisé. Avec un seul cordon, la zone de tarification s'étend à une distance de 22km pour un péage de 22.5€. Cela nous permet d'atteindre un niveau d'efficacité de 63% en comparaison avec la politique optimale. Avec deux cordons, les localisations optimales du centre se situent à des distances respectives de 14km et 31km. Les gains marginaux en efficacité sont de l'ordre de 10% par rapport à la situation avec un seul cordon. Ce gain, inférieur à notre attente initiale, reste toutefois respectable. Par ailleurs, le double cordon peut améliorer l'acceptabilité du péage : la majorité des usagers ne payeront que 14€, un montant plus faible que les 22.5€ payés en présence d'un simple cordon.

63 L'annexe G-2 « Cordon pricing in the monocentric city model: theory and application to Île-de-France. » reprend une publication résumée dans ce paragraphe.

• 5.5 - IMPACT DES TRANSPORTS EN COMMUN[64]

Le modèle monocentrique de base ne considère qu'un seul mode de transport disponible pour les ménages. Cette hypothèse simplifie sensiblement l'analyse mais constitue bien entendu une limitation majeure, surtout lorsqu'il s'agit d'applications empiriques. Nous avons essayé de remédier à cet inconvénient en intégrant les transports collectifs dans notre analyse. Le modèle développé dans le cadre du projet considère la tarification des transports publics ainsi que la localisation des stations comme des variables endogènes. Dans le présent modèle, la localisation des ménages est fixée.

5.5.1 - LE MODÈLE

Notre analyse est développée en deux étapes. Dans une première partie, un modèle simple comprenant une ville linéaire et une seule station est étudiée. Chaque ménage décide, en fonction de sa localisation, du mode de transport pour se rendre au centre ville. Soit un mode privé (par exemple la voiture) pour faire tout le trajet, soit le même mode privé pour aller à la station pour ensuite utiliser le transport collectif (par exemple le train). Les deux modes diffèrent au niveau des coûts généralisés des transports. Le coût généralisé tient compte de la vitesse du transport.

La situation peut-être schématisée par la figure 5.2 :

Figure 5.2 Modèle des transports en commun avec une seule station

Les paramètres du modèle représenté par la figure 5.2 sont les suivants :

- 0 – r_c : centre ville (CBD, pour centre d'affaire)
- r_s : emplacement de la station
- r_f : rayon de la ville
- r_l: rayon de l'usager indifférent entre l'usage de la voiture et le transit par train.

On peut distinguer deux types de ménages en fonction de leur localisation :

- (r_c, r_l) : les ménages qui utilisent les voitures pour se rendre au centre ville
- (r_l, r_f) : les ménages qui se rendent en voiture à la station (en r_s) puis utilisent le train pour aller au centre ville.

Pour aboutir à cette segmentation, chaque ménage choisit l'option qui lui permet de minimiser le coût généralisé de transport.

64 L'annexe H « Transport collectif : impacts sur la dynamique urbaine et les émissions » détaille les résultats résumés dans ce paragraphe.

→ Le comportement des opérateurs selon leur nature

Le modèle permet de mettre en évidence les intérêts des opérateurs en fonction de leur caractère public ou privé. Ainsi la localisation optimale de la station pour un opérateur public dépend sensiblement du rapport de coût entre les modes. Si les deux modes sont comparables il est optimal de localiser la station à une distance égale à la moitié du rayon de la ville. Plus le transport public est attractif par rapport au transport privé, plus il est optimal d'éloigner la station du centre ville. Par ailleurs, la distribution des ménages a aussi une influence sur la localisation de la station.

L'intérêt d'un opérateur privé est différent : il cherche à récupérer un gain maximal, et de ce fait focalise son intérêt sur le groupe qui offre une disponibilité importante à payer pour le transport collectif. Moins de ménages utiliseront alors les transports collectifs par rapport à un opérateur public. Le rapport des coûts entre les deux modes n'a aucune incidence sur la politique de l'opérateur privé, en contraste avec la situation en présence d'un opérateur public.

→ Modèle à plusieurs stations

Avec plusieurs stations, la structure de base du problème reste la même. Un opérateur public place les stations avec une concentration plus forte là où la concentration des ménages est forte. Le rapport des coûts entre les deux modes joue toujours le même rôle : lorsque le mode collectif est avantageux, les stations s'éloignent du centre ville.

L'intérêt de l'opérateur privé est de rester indifférent à la variable de concentration des ménages. Il est à noter qu'en cas de concurrence entre opérateurs privés, où chacun contrôle une station, conduit à une situation équivalente à un monopole. Cela découle du fait qu'il s'agit d'une situation de marchés séparés, à savoir les trajets offerts sur les différentes stations. A la lumière de ce constat, nous constatons qu'il n'y a pas d'intérêt à privatiser un tel système vers plusieurs opérateurs privés.

→ La fréquence de service

Un aspect important du transport collectif est la fréquence des services. En effet le temps de trajet, et donc le coût généralisé de transport, a une influence importante sur le choix modal des ménages. Nous avons intégré cet aspect dans notre analyse, pour obtenir un temps de service permettant de minimiser le coût de transport total.

La fréquence optimale du service possède certaines propriétés utiles à mentionner. Dans un ensemble de ménages qui prennent le même train, un groupe de ceux-ci arrive à destination avec un retard pouvant être plus au moins important ; d'autres ménages arrivent avec une certaine avance. Le retard et l'avance sont fixés par rapport à un temps d'arrivée souhaité. La littérature relative à cette problématique suppose souvent que pour la même unité de temps la pénalité associée à un retard est plus importante que celle associée à l'avance.

Nous avons obtenu que de manière générale, le temps de service optimal doit être tel que le passager le plus pénalisé en retard le soit autant que le passager pénalisé en avance. Il s'agit donc d'une solution de type MINMAX, où le maximum de coût est minimisé.

5.5.2 - APPLICATION ET RÉSULTATS

Le modèle a été testé sur la partie Est du RER A entre Châtelet et Marne la Vallée. Des données de différentes communes se trouvant sur la ligne A ont été utilisées, afin de les caler avec un modèle urbain. Le modèle monocentrique dit de la ville ouverte, plus aisé à résoudre, a été utilisé dans ce cadre. Pour chaque commune considérée nous avons obtenu un rayon urbain conduisant à une population dont le nombre coïncide avec les données empiriques disponibles.

La figure 5.2 nous donne, à titre d'exemple, les destinations des trajets domicile travail qui prennent départ à la gare de Noisy-le-Grand. Il s'agit de données INSEE compilées et rendues disponibles sur le site de l'IAURIF.[65]

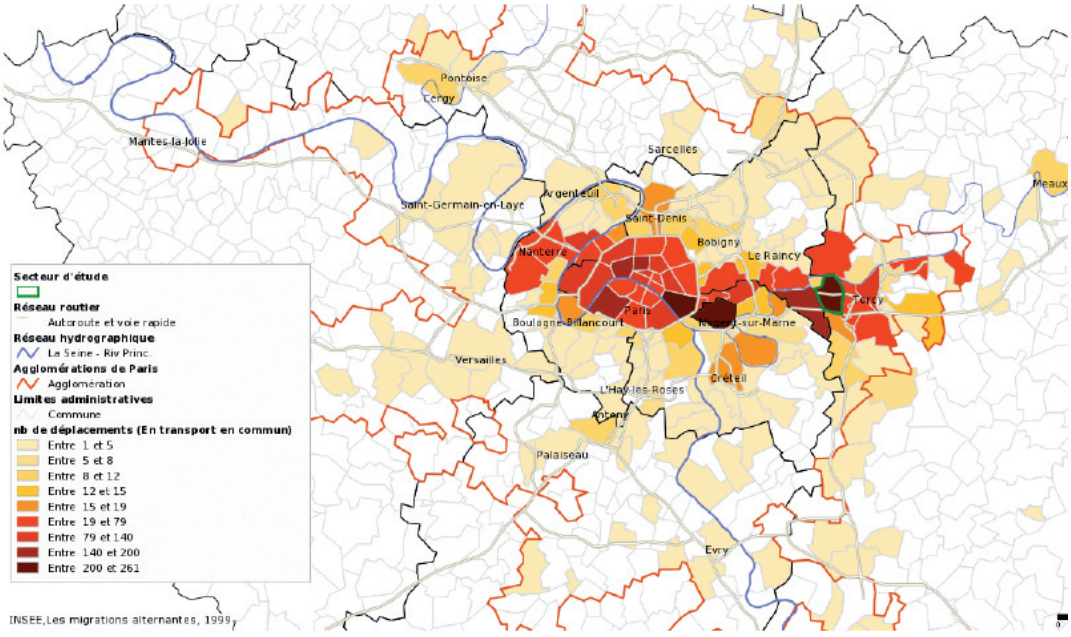


Figure 5.3 Destinations des trajets domicile–travail issus de Noisy-le-Grand (Source IAURIF)

La comparaison de différentes zones périurbaines fournit le tableau 5.2 :

BANLIEUE	DIST. (KM)	POP.	RAYON	REVENU	SURF. LOGEM.	RENTE FONC.
Vincennes	8	15 256	2 036	25 964	88,0	55,1
Champs	20	4 002	1 071	24 999	90,2	54,0
Torcy	28	3 438	995	24 923	90,5	53,7
Chessy	35	1 905	746	24 674	91,8	52,7

Tableau 5.2 : Résultats pour les différentes zones péri-urbaines. Le rayon de la commune est exprimé en mètres, le revenu en euros, la surface de logement en mètres carrés et la rente foncière moyenne en euros

65 Voir www.iaurif.org

Dans le tableau 5.2, les deux valeurs sur les colonnes « Dist » et « Pop » sont données de manière exogène et correspondent à des données empiriques. Les valeurs des autres colonnes sont générées par le modèle. On remarque que les zones péri-urbaines deviennent de plus en plus petites au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre ville. Le revenu disponible après le coût de transport est de même décroissant en fonction de la distance par rapport au centre.

→ Impact de l'étalement urbain

Les ménages qui habitent dans une agglomération plus éloignée disposent, en moyenne, d'une surface de logement plus importante. Afin de mesurer l'impact de cet étalement urbain sur le niveau des émissions, nous avons comparé cette situation de référence par rapport au cas où tous les ménages seraient localisés dans l'agglomération urbaine la plus proche. Dans le cas de figure considéré, la réduction des émissions provenant de la diminution du chauffage - moins de 1% - ne constitue par une valeur significative.

5.5.3 - IMPACT DES MODIFICATIONS DE L'HABITAT SUR LES ÉMISSIONS DE CO_2

Le modèle ici considéré dans cette partie permet d'évaluer les impacts sur les émissions de CO_2 ayant leur origine :

- soit dans les moyens de transport privés (voitures), supposés être plus polluants que les moyens collectifs.
- soit à partir du chauffage des logements.

La construction d'une ligne de transport plus longue conduit à un étalement de la zone urbaine. Le modèle monocentrique (ainsi que les observations réelles) montre que les ménages occupent des espaces d'habitation plus grands lorsqu'ils se localisent loin du centre ville. Cela conduit à une augmentation de la consommation de chauffage. Nous avons toutefois analysé un cas pratique où ce dernier effet ne semble pas jouer de manière significative. L'étalement urbain reste cependant caractéristique d'un niveau d'émissions élevé : la faible densité des systèmes de transport collectif dans les zones éloignées favorise l'usage de la voiture privée.

• 5.6 - CONCLUSIONS

L'instauration d'un péage urbain conduit rapidement à une limitation des déplacements qui se caractérisent par des coûts externes élevés. Cet effet a été observé notamment à la mise en place du système de péage de zone à Londres. A long terme les conséquences du péage s'étendent à la forme urbaine. En effet, à ce stade, les décisions de localisation des ménages et des entreprises prennent en compte l'existence d'un péage.

Notre analyse confirme les avantages d'un péage de cordon. Ce schéma de tarification aboutit à un niveau de concentration urbaine important tout en étant relativement facile à mettre en place, comme le montrent les expériences de Londres et Stockholm. Ce schéma permet une réduction des émissions de CO_2 de l'ordre de 11% ce qui reste comparable à l'impact du péage optimal. Le péage permet aussi une réduction de même ordre du temps de trajet. Bien que la ville devienne plus dense, la surface d'habitation ne diminue pas sensiblement car le terrain alloué au transport se trouve réduit.

L'organisation des transports collectifs permet d'obtenir un gain supplémentaire au niveau de la réduction des émissions. Les deux aspects pertinents dans ce problème sont la structure géographique du réseau de transport et la tarification des déplacements. La structure du réseau dépend principalement du rapport du coût d'usage entre les différents modes disponibles. Nous avons utilisé notre modèle pour étudier la formation des agglomérations périurbaines. Les résultats préliminaires obtenus dans le cadre de cette étude montrent que la politique des transports publics n'a pas un impact significatif sur les émissions des ménages au niveau du chauffage de leur foyer. Le report modal vers des transports collectifs reste la cause la plus importante de limitation des émissions.

Il serait intéressant de comparer notre analyse avec des travaux s'articulant autour de la même thématique mais se basant sur des méthodes de simulation. Pour le cas de la France, mentionnons les travaux effectués au Laboratoire ThéMA de l'université de Franche Comté et de Bourgogne.[66]

L'exemple important traité ici permet de confirmer que des mesures de tarification du transport urbain peuvent conduire à un gain de bien-être accompagné d'une réduction des émissions. Ces mesures permettent aussi à long terme la modification de la structure urbaine, entraînant une place plus réduite allouée à l'automobile.

66 Voir par exemple Fraunhauser P., Houot H., Tannier C. et Vuidel G. (2008) « Vers des déplacements péri-urbains plus durables: proposition de modèles fractals opérationnels d'urbanisation ».

6 | REGARD SUR L'INTERURBAIN [67]

6.1 - INTRODUCTION

Une des pistes fréquemment évoquées pour la réduction des émissions de CO_2 est celle du report modal vers des modes de transport moins polluants. C'est notamment le cas du transport de marchandises; un exemple en est la déviation du transport de marchandises du trafic routier vers le ferroviaire ou le fluvial. Ce report nécessite généralement un investissement important dans des infrastructures appropriées, dont le financement nécessite des montages parfois complexes. Dans tous les cas de figure, les précieuses ressources des pouvoirs publics sont sollicitées, que ce soit sous forme de moyens financiers et/ou de temps consacré au montage et au suivi du projet. Dans le cas du transport interurbain, la situation se complique du fait de la présence de différents niveaux de pouvoir associés à des zones géographiques distinctes, dont les intérêts peuvent parfois paraître divergents. De plus la montée en puissance du critère de limitations des émissions de GES a peu de chances de faciliter *a priori* l'évaluation des mérites comparés de différents projets.

Le rôle de l'économiste dans ce contexte est d'apporter un éclairage sur la question de la pertinence d'un projet. Cet éclairage peut notamment prendre la forme d'une étude de type analyse coût/bénéfice. La réelle plus-value ne provient pas des résultats absolus obtenus par une telle analyse, toujours réductionniste par essence, mais par la mise en valeur des hypothèses retenues, des données utilisées, des paramètres significatifs dans l'évaluation et la comparaison des différents résultats. Pour résumer, tout ce qui peut permettre une discussion argumentée de résultats basés sur des hypothèses bien identifiées peut contribuer utilement à l'analyse.

Un aspect important de ce genre d'exercice réside bien sûr dans le choix des caractéristiques du modèle employé ainsi que le choix du type de paramètres. Ces choix permettent donc de préciser un cadrage approprié à l'étude. Dans cette optique, les travaux ici présentés ont voulu mettre en valeur les impacts d'une réalisation d'un ouvrage d'infrastructure de transport sur les émissions de CO_2.

Nous avons déjà évoqué dans les sections précédentes l'incertitude qui accompagne la problématique du changement climatique. Une analyse de la pertinence éventuelle d'un investissement se doit de tenir explicitement compte d'un environnement incertain. Cette incertitude provient donc notamment :

→ de l'évolution incertaine de la demande de services de transport.

→ des exigences dues à des engagements globaux (l'objectif facteur 4).

→ de la variation résultante du prix de l'énergie.

67 Les détails de ce travail sont présentés dans l'annexe I « Analyse coût-bénéfice et évaluation de projets de transport avec demande et prix de l'énergie incertains .Application au canal Seine-Nord Europe. »

Afin d'illustrer une méthode novatrice d'analyse de pertinence d'un projet, combinant une intégration fine de paramètres incertains avec la prise en compte des contraintes environnementales, un cas concret a été étudié dans le cadre du *projet Carbone*. Il s'agit du projet d'extension du canal Seine-Nord Europe, évoqué notamment à l'occasion du Grenelle Environnement. Le but ici est d'intégrer ces éléments d'incertitude dans l'évaluation des investissements et des émissions de CO_2. L'interprétation des chiffres obtenus fait aussi partie de notre réflexion et permet d'éclairer quelques questions importantes associées.

L'objectif du travail ici synthétisé a donc été double : il s'agit d'une part de l'évaluation d'une politique de transport durable, d'autre part d'offrir un apport théorique, par l'intégration d'éléments stochastiques dans une analyse coût-bénéfice.

Les données macroéconomiques employées dans le cadre de ce travail, ainsi que les corrélations entre demande et prix de l'énergie, ont été dérivées de l'étude macroéconomique présentée dans la section 3 du présent rapport, notamment via l'utilisation du modèle GEM-E3.

Après avoir rappelé l'objet du projet et quelques résultats de différentes études s'y rapportant, le modèle de simulation MOLINO employé par la présente étude est brièvement présenté.

Nous continuons par une esquisse de la modélisation de la double incertitude sur la demande et le prix de l'énergie, puis nous présentons les résultats avant de conclure.

• 6.2 - ETUDE DE CAS : LE CANAL SEINE-NORD EUROPE (SNE) ET SON PROJET D'EXTENSION

Le canal Seine-Nord Europe s'étend d'Aubencheul-au-Bac, situé à l'ouest de Cambrai, au nord jusqu'à Compiègne au sud, avec une longueur de 106 km.

Comme illustré par la figure 6.1, ce canal relie les zones économiques de la région Parisienne et de la Normandie avec le reste de l'Europe du Nord-Ouest.

Le gabarit réduit du canal actuel constitue un goulot d'étranglement pour l'ensemble du réseau fluvial du Nord Ouest Européen. Selon Voies Navigables de France (VNF), le gestionnaire du réseau fluvial et maître d'œuvre du projet d'extension - cette limitation a un impact significatif sur la part modale du trafic fluvial (entre 3% et 4%) sur cet axe. Sur d'autres axes disposant de canaux de gabarit suffisants, les parts modales du canal peuvent atteindre 13%.

Le projet de l'extension de liaison fluviale SNE est destiné à permettre la connexion de la France, la Belgique, les Pays-Bas et l'Allemagne au moyen d'un réseau fluvial de transport de marchandises à grand gabarit. Le réseau routier constitue actuellement le principal moyen de transport dans les régions concernées par le projet. Sur l'axe nord-sud, plus de 80% de marchandises sont transportées par la route. L'extension de ce canal permettra

une connexion avec le réseau du Rhin et du Danube. Il s'agit donc d'un maillon essentiel à la mise en place d'un réseau fluvial européen s'étendant vers l'Europe centrale et orientale jusqu'à la mer Noire.

Le projet d'extension a été retenu en 2004 parmi les projets prioritaires du Réseau Trans-Européen de Transport (RTE-T). Nous avons déjà signalé ci-dessus la mention explicite de ce projet dans la loi dite de Grenelle 1.

Figure 6.1 Le canal Seine-Nord Europe, représenté en traits pointillés. Le gabarit actuel de ce canal restreint le réseau fluvial Nord Ouest Européen (VNF, 2006)

• 6.3 - ETUDES RÉALISÉES SUR LE PROJET D'EXTENSION

6.3.1 - L'ETUDE VNF[68]

Dans son étude de faisabilité, VNF, supposant une exploitation d'une durée de 35 ans (jusqu'en 2050), a étudié divers scénarios. Parmi ceux-ci :

→ un scénario dit de base, suppose une demande de transport de marchandises de 13,3 MT en 2020, passant à 20MT en 2050.

→ un scénario dit logistique suppose lui une demande passant de 13,8MT en 2020 à 25,8MT en 2050.

Deux modes contractuels de réalisation ont été étudiés : le premier repose sur un contrat de partenariat public-privé (PPP), le second sur une maîtrise d'ouvrage publique (MOP).

Un péage unitaire, permettant le franchissement des 106 km du nouveau canal, est fixé à 1,75€ la tonne.

68 VNF (2006) « Liaison fluviale européenne Seine- Escaut : Canal seine-nord Europe, Evaluation socio-économique ».

Un résumé de l'étude de rentabilité de VNF pour ces deux scénarios est présenté dans le tableau 6.1. En résumé, dans les cas de figure analysés, le bilan global est positif, comme le montrent les chiffres obtenus pour la valeur actualisée nette (VAN)[69]. C'est aussi le cas pour le taux de rentabilité interne (TRI)[70], situé selon les cas entre 5 et 7%.

Pour les deux scénarios considérés, il apparaît que la solution contractuelle du PPP est la plus avantageuse. Cet avantage provient probablement d'une mise en service plus rapide dans ce cas de figure.

Concernant le bilan des émissions de CO_2, le report total vers la voie de l'eau de 4,5 milliards de tonnes-km par an conduirait, selon VNF, à une économie de 250.000 tonnes de CO_2 par an.

Signalons que VNF inclut dans son estimation une série de bénéfices sociaux générés par la réalisation de l'extension.

	SCÉNARIO DE BASE		SCÉNARIO LOGISTIQUE	
	PPP	MOP	PPP	MOP
Investissements				
Projet SNE	-3 264 (97%)	-3 344 (98%)	-3 350 (98%)	-3 435 (98%)
Investissements connexes	-86 (3%)	-86 (2%)	-86 (2%)	-86 (2%)
Sous-total investissements	-3 349 (100%)	-3 430 (100%)	-3 435 (100%)	-3 521 (100%)
Exploitation transport				
Exploitation SNE	-324	-363	-313	-350
Gestionnaires d'infrastructures	-240	-195	-518	-472
Surplus des usagers	3 973	3 539	5 716	5 358
Économies sur les coûts externes	1 123	981	1 829	1 681
Autres avantages transport	414	386	501	471
Sous-total VAN transport	4 945 (92%)	4 348 (91%)	7 215 (94%)	6 688 (94%)
Avantages non-transport				
Crues	81	74	81	74
Alimentation en eau	137	125	137	125
Tourisme	92	80	92	80
Plates-formes	134	117	134	117
Sous-total VAN non-transport	444 (8%)	396 (9%)	444 (6%)	396 (6%)
VAN total hors investissements	5 389 (100%)	4 744 (100%)	7 660 (100%)	7 084 (100%)
Bilan global (VAN)	**2 040**	**1 314**	**4 224**	**3 564**

Tableau 6.1 Résumé de l'étude de rentabilité de VNF (VNF, 2006)

69 La valeur actualisée nette (VAN) ou bénéfice actualisé, correspond à la somme des bénéfices (la somme des avantages moins la somme des coûts) actualisés du projet sur l'ensemble de la période d'étude

70 Le taux de rentabilité interne (TRI) correspond au taux d'actualisation pour lequel la valeur actualisée nette du projet est égale à zéro

6.3.2 - AUTRES ÉTUDES SUR LE PROJET D'EXTENSION

Plusieurs études sur ce canal ont fourni des réponses parfois divergentes.

Ainsi, dans un article publié dans la revue Transport[71], Alain Bonnafous en arrive aux conclusions suivantes :

Contrairement à ce qu'affirme VNF dans son étude, l'extension du canal conduira à un accroissement des émissions de CO_2. Le bilan carbone serait donc négatif.

De manière générale, le fret que le fluvial reprend à la route a toujours été limité, même sur les axes performants libres d'écluses. Or le canal SNE prévoit 7 écluses, sur une longueur de 106 km.

Une étude menée par Rémi Prud'homme[72] est tout aussi sceptique :

La réduction de trafic routier conduirait à un gain négligeable en termes de congestion et de vitesse. Par ailleurs, toujours selon cette étude, la limitation résultante de CO_2 serait aussi négligeable. Une réduction équivalente pourrait être obtenue par l'achat et la destruction subséquente de permis d'émission pour une somme d'environ 60 MEUR. Finalement, aucun taux d'actualisation positif ne permet d'égaler les bénéfices actualisés et le coût d'investissement.

Finalement, une étude de Maurice Bernadet[73] retrouve quant à elle en grandes lignes les résultats de VNF. Ses principales conclusions conduisent à une VAN de 2040 millions d'€ et une TRI de 5,3%. Ces résultats, comparables à ceux de VNF, prennent en compte d'autres externalités positives, comme la gestion des crues, l'alimentation en eau, et le tourisme.

En résumé, ces études montrent l'existence de controverses quant à la rentabilité économique du projet et à sa capacité contributive à la limitation des émissions de CO_2.

Le travail réalisé dans le cadre du projet n'a pas pour objectif de prendre parti dans ce débat. Notre but est ici d'illustrer l'impact et l'importance de la prise en compte de l'incertitude sur les paramètres. Partant des données fournies par le maître de l'ouvrage VNF, nous avons estimé à l'aide du modèle de simulation MOLINO les performances du projet en matière de réduction des émissions de CO_2 tout en tenant compte de manière explicite de l'incertitude sur les prix de l'énergie et la demande.

71 Bonnafous A. (2009), « La loi « Grenelle I » le canal et l'effet de serre ».
72 Prud'homme, R. (2006), "Analyse socio-économique du projet de canal Seine-Nord ".
73 Bernadet M. (2007), « L'évaluation socio-économique du projet de canal Seine-Nord Europe ».

• 6.4 - LE MODÈLE DE SIMULATION MOLINO

6.4.1 - PRÉSENTATION GÉNÉRALE

MOLINO est un modèle de simulation de transport adapté à la modélisation du transport interurbain. Développé par A. de Palma, S. Proost et S. Van der Loo[74], il a été utilisé dans le cadre de plusieurs études européennes. Une description plus détaillée en est fournie en annexe.

L'objectif du modèle MOLINO est de répondre en détail à des questions d'investissement et de tarification ainsi qu'à la considération de l'affectation des revenus collectés.

Les entrées du modèle sont de deux types. Une première série de données techniques permettent le calage du modèle à un état de référence. Ces données peuvent comprendre par exemple des informations relatives à l'infrastructure comme les informations sur les capacités, les coûts d'exploitation mais aussi des coûts de financement.

Un autre catégorie de données, associé à l'environnement de régulation, comprend par exemple les règles de péage, les affectations de revenus, et les types contractuels pour les différents modes de transport considérés.

Le calage du modèle nécessite la définition des paramètres de l'année de base correspondant à ces deux catégories de données pour le cas de référence. Une fois le modèle calé, il sera prêt pour l'évaluation d'autres régulations. Seules les données du type réglementaire devront être modifiées à cet effet.

Les sorties de MOLINO comprennent des paramètres tels que les prix d'équilibre, le volume de transport, l'efficacité de temps de voyage, les revenus de péage, les équilibres financiers et le bien-être social.

6.4.2 - MODÉLISATION DE L'INCERTITUDE

Le modèle MOLINO a été enrichi d'un module permettant de prendre en compte l'évolution aléatoire de la demande en transport et du prix de l'énergie.

Cette simulation a été réalisée via l'utilisation d'une loi triangulaire qui combine l'avantage de la simplicité avec celle d'un réalisme raisonnable.

Les deux variables incertaines considérées, soit le prix de l'énergie et la demande de transport, ne sont certainement pas indépendantes. Par exemple, il est raisonnable de s'attendre à une demande plus faible en cas de prix de l'énergie élevé. Leur couplage a été estimé via l'utilisation du modèle GEM-E3, décrit dans la section 3 du présent rapport.

74 Voir à ce sujet de Palma A., Proost S. and Van der Loo S. (2008), "MOLINO-II a model for assessing pricing and investment strategies for transport infrastructure" et de Palma, A., Proost S., Van der Loo S. (2010), "Assessing transport investments – towards a multi-purpose tool".

Le processus employé, la loi jointe, est illustré en figure 6.2. Le choix d'un prix de l'énergie (pétrole) induit celui d'une loi précise associée à l'incertitude de la croissance de la demande.

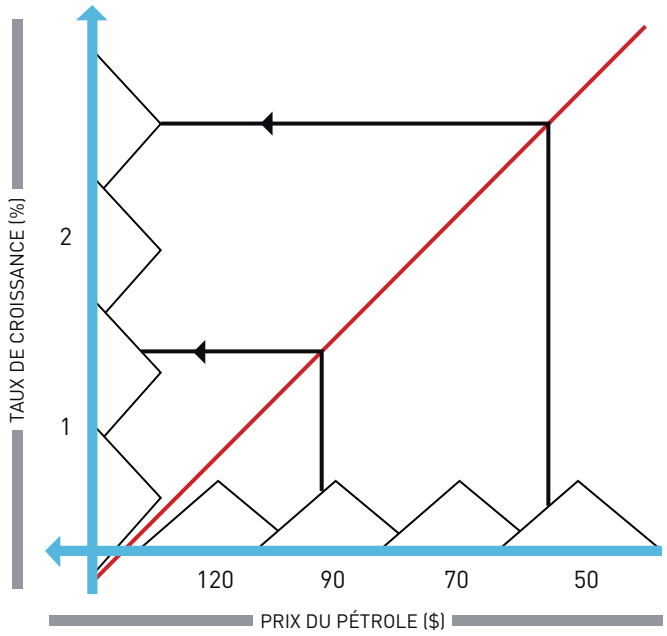


Figure 6.2 Loi jointe de tirage des paramètres incertains utilisée pour cette étude

Dans la figure 6.2, l'inversion de l'axe du prix du pétrole simplifie la relation de dépendance entre la demande et le prix. Par exemple, le tirage d'un prix de 55$ correspond à une distribution d'accroissement de la demande supérieure à 2%.

Nous distinguons plusieurs lois pour le prix de l'énergie pour mieux en cerner l'incertitude. Le processus de tirage consiste à tirer d'abord une loi (les paramètres a, b, c, ou la moyenne et l'écart-type de la loi triangulaire) puis ensuite à tirer un prix du l'énergie. Ce dernier, par la relation entre demande et prix, déterminera la loi de tirage du taux de croissance.

• 6.5 - RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

6.5.1 - APPLICATION ET CALAGE DU MODÈLE SUR LE CAS DE RÉFÉRENCE

Le modèle MOLINO a été appliqué à l'étude du projet sur un réseau simplifié, qui tient compte des quantités de marchandises transitant par le réseau réel. Le réseau de la voie d'eau du Nord de la France comprenant le tronçon étudié a été simulé. Les deux modes concurrents, à savoir la route et le chemin de fer, ont aussi été pris en compte.

Un calage a été réalisé sur les prévisions de VNF, aussi bien dans une situation sans projet que dans une situation supposant la réalisation du projet d'extension. Le calage porte dans ce dernier cas sur le scénario de base de VNF.

TRAFIC ANNUEL ESTIMATIONS MOLINO (MOL) OU VNF EN MILLIONS DE TONNES (MT)	2000 VNF	2000 MOL	2015 MOL	2020 VNF	2020 MOL	2050 VNF	2050 MOL	2065 MOL
Canal	4,1	4,1	12,6	15,0	14,9	30,0	31,3	45,0
Train	20,6	20,6	34,2	37,4	41,2	51,8	68,8	90,8
Route	104,2	104,2	133,3	144,3	145,1	187,0	186,0	208,8
Total	128,9	128,9	180,2	197,9	201,3	271,0	286,1	344,7

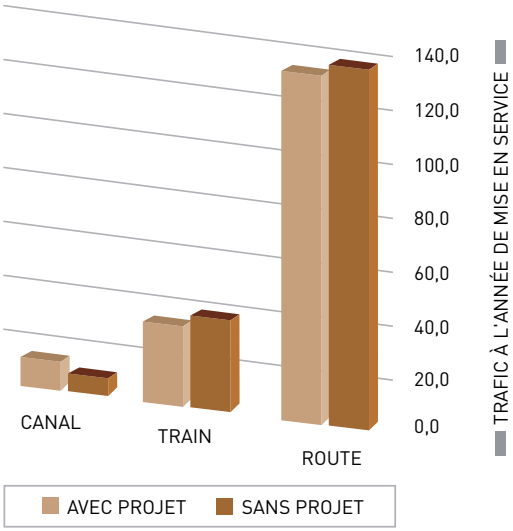
Tableau 6.2 Résultats absolus dans le cas avec projet. Comparaison entre les résultats VNF et ceux obtenus par le calage de MOLINO (MOL). Les données sont en Millions de Tonnes

Un exemple des résultats du calage est présenté dans le tableau 6.2. Il correspond donc à un scénario avec projet d'extension. L'accord entre les projections VNF et les résultats de la simulation MOLINO est en général excellent, sauf pour ce qui concerne le mode ferroviaire à l'horizon 2050.

Les résultats obtenus via la simulation MOLINO reproduisent dans les grandes lignes ceux de VNF.

6.5.2 - RÉSULTAT DES SIMULATIONS

→ L'année de mise en service (2015)



A la première année de mise en service, une augmentation du trafic sur le canal de plus de 7 millions de tonnes est observée. Ce chiffre provient du cumul entre le trafic induit et le trafic détourné des modes concurrents. Les parts modales passent de 81% pour la route, 16% le train et 3% le canal pour l'année 2000 à 74%, 19% et 7% respectivement pour l'année 2015. Le total du trafic induit est de l'ordre de 4 millions de tonnes, soit 2.2% du trafic total. La figure 6.3 représente l'impact du projet sur le volume de trafic à l'année de mise en service.

Figure 6.3 Volume de trafic à l'année de mise en service selon le mode avec et sans projet

Les deux modes concurrents subissent des baisses de trafic en terme de volume. Le fret ferroviaire perd environ 1.3 millions de tonnes, la route 3 millions de tonnes.

→ Evolution du trafic : prise en compte des paramètres incertains

Le calage du modèle MOLINO sur les prévisions de demande de transport faites par VNF a nécessité l'introduction de deux périodes de simulation. La première période s'étale de 2000 à 2020 avec un taux de croissance annuel de 2%. La deuxième période va de 2020 à 2065 avec un taux de croissance annuel de 1%. Nous présentons ci-dessous les résultats des simulations pour différentes valeurs des paramètres incertains, à savoir le taux de croissance de la demande et le prix de l'énergie. Nous considérons 3 cas pour le taux de croissance selon les deux périodes précédemment citées. Cela revient à faire une étude de sensibilité sur le taux de croissance autour du cas de référence (2%/1%) ; les valeurs considérées sont des couples de valeurs correspondant aux deux périodes, à savoir (1%/0,5%) et (4%/2%). Pareillement nous considérons 4 valeurs pour le prix du pétrole, 30$, 60$, 90$ et 120$. Le cas qui coïncide avec les prévisions de VNF correspond au couple de valeurs (2/1%) et 30$.

Le trafic sur le canal et le rail augmente de concert avec le prix du pétrole, suite à la baisse du trafic routier, ce dernier étant le plus sensible au prix de l'énergie.

TAUX DE CROISSANCE DE LA DEMANDE									
Prix du Pétrole	1 / 0,5%			2% / 1%			4% / 2%		
Volume de trafic (MT)	Canal	Train	Route	Canal	Train	Route	Canal	Train	Route
30 $	15	40	145	**14**	**41**	**145**	34	85	199
60 $	17	51	106	24	70	126	46	133	173
90 $	26	82	92	34	108	109	61	190	150
120 $	46	149	94	44	151	94	74	252	131
Parts modales (%)									
30 $	8%	20%	72%	**7%**	**21%**	**72%**	11%	27%	63%
60 $	10%	29%	61%	11%	32%	57%	13%	38%	49%
90 $	13%	41%	46%	14%	43%	43%	15%	47%	38%
120 $	16%	51%	33%	15%	52%	33%	16%	55%	29%

Tableau 6.3 Résultat des simulations. Volumes annuels de trafic en millions de tonnes (MT) pour l'année 2020, en fonction des paramètres incertains

Le tableau 6.3 présente les résultats des simulations pour l'année 2020 selon les différentes valeurs des paramètres incertains. Nous constatons que la part modale de la route baisse fortement quand le prix du pétrole augmente. Cela permet de penser qu'une politique de régulation orientée vers la taxation des carburants pourrait être favorable au report modal de la route vers les modes propres. Notons que l'étude concerne ici le transport de fret, et qu'une taxe sur les carburants affecterait également les véhicules légers. Une tarification kilométrique selon le type de véhicules permettrait de discriminer le transport de marchandises.

6.5.3 - CALCUL DES REVENUS DU PÉAGE

Le tableau 6.4 présente les revenus du péage. Un montant de 0,8 milliard d'euros sur 50 ans d'exploitation est obtenu dans le cas de référence. Notons que ces chiffres sont obtenus en limitant les revenus à la seule fonction de transport de marchandises. Rappelons que le montant du péage considéré par VNF est de 1,75€ par tonne traversant le canal. Le projet ne devient rentable au sens strict que pour un prix de pétrole de 120 dollars et un taux de croissance de la demande de 4% puis de 2%, ce qui est un scénario peu probable vu la corrélation négative existante entre le prix du pétrole et la demande.

REVENUS (MILLIARDS €)	TAUX DE CROISSANCE		
Prix	1% / 0,5%	2% / 1%	4% / 2%
30 $	0,63	**0,8**	2,5
60 $	0,74	1,2	3,1
90 $	1,1	1,7	3,8
120 $	2	2,1	4,4

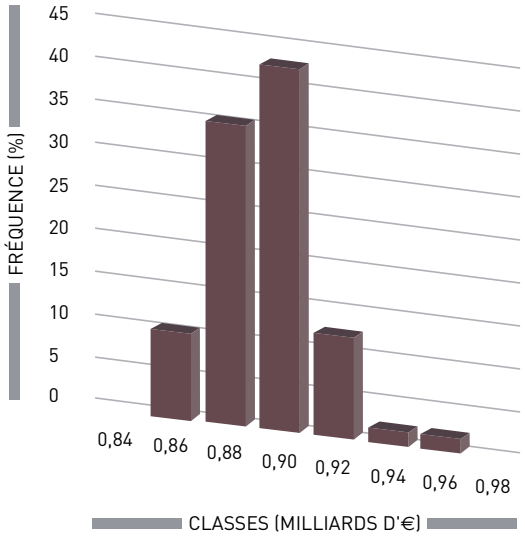
Tableau 6.4 Revenus du péage sur 50 ans d'exploitation selon les paramètres incertains (Milliards €)

Une étude de sensibilité sur le montant du péage montre qu'un péage de 2,5€/t réduirait le trafic sur le canal de 15% mais conduirait à un revenu de 1,1 milliards d'€, soit une hausse de 30% par rapport au péage de 1,75€/t.

Un péage de 3,25€/t réduirait quant à lui le volume de trafic sur le canal de 26%, et ferait passer le revenu à 1,3 milliard d'€, soit une hausse de 53% par rapport au cas de référence.

→ Moyenne des revenus du péage en fonction des paramètres incertains

Une moyenne des revenus peut être simplement déterminée en assignant des probabilités de réalisation « raisonnables » à chaque évènement; dans ce cas, il n'est pas tenu compte de la corrélation entre le coût de l'énergie et la demande. Le revenu du péage s'établit alors autour de 1,8 milliards d'euros. Cette valeur est significativement plus élevée que celle obtenue pour le cas de référence (0,8 milliard d'€).



→ Prise en compte du couplage entre le prix de l'énergie et la demande

Selon le schéma présenté dans la section 6.4.2, une centaine de simulations ont été effectuées permettant d'obtenir une représentation de la loi de distribution des revenus du péage. La figure 6.4 présente les résultats obtenus sous forme d'histogramme.

La moyenne des revenus obtenus est alors de l'ordre de 0,9 Milliards d'euros. La différence avec la moyenne obtenue ci-dessus est une conséquence du couplage négatif entre la demande et le prix de l'énergie.

Figure 6.4 Histogramme des revenus du péage selon les paramètres incertains

Au cours de 100 simulations, les revenus du péage pour le cas de référence n'ont pas dépassé 1 milliard d'euros. Ceci confirme encore que selon nos résultats, le projet sera loin d'être uniquement autofinancé par le péage. La rentabilité ne peut être atteinte que par l'ajout d'autres fonctions au projet, comme l'alimentation en eau, la crue, et surtout la relance de l'économie régionale, puisque la réalisation de l'extension induira un trafic important.

6.5.4 - CALCUL DES VOLUMES DE TRAFIC

Les différentes tendances d'évolution des parts modales obtenues par la simulation sont présentées par la figure 6.5. Le projet permet de ralentir la croissance de la route, qui reste cependant largement dominante.

L'impact du projet peut être constaté. En termes de pourcentage de parts modales, la route perd près de 20 points au bout des 50 ans de service, passant de plus de 80 % dans l'état actuel du canal à 60% après la mise en service de l'extension. Les modes ferroviaires et fluviaux voient leur part augmenter. Il faut remarquer que sans la réalisation du projet, la part modale du canal aurait décru, suite à la contrainte de capacité.

L'aménagement du canal conduira donc à une véritable explosion du trafic fluvial. Dans l'état actuel du canal, le trafic est limité à 5 millions de tonnes. La réalisation du projet conduira au triplement du trafic durant les premières années de mise en service, qui pourra atteindre 45 millions de tonnes au bout de 50 ans de service. Le trafic sur le canal s'accentue à partir de l'année 2040 : suite à l'augmentation de la congestion sur la route, l'usage du canal se justifie d'autant plus d'un point de vue économique.

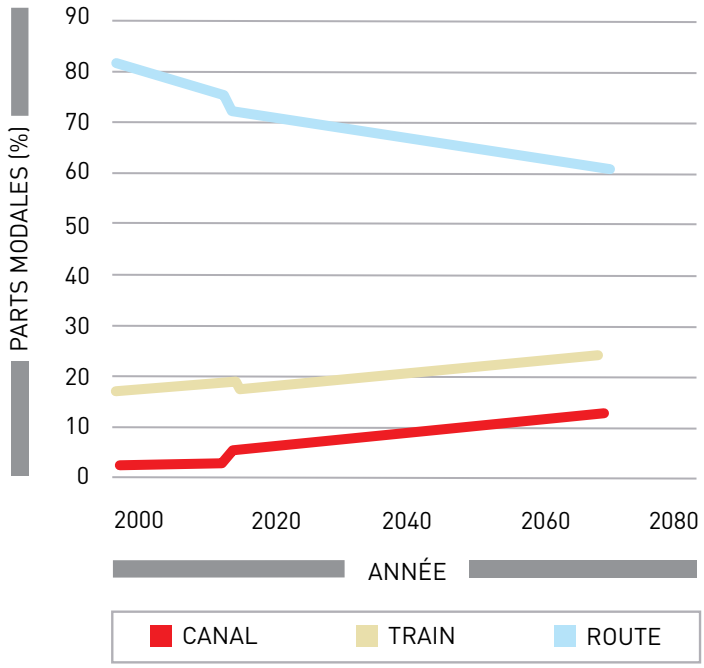


Figure 6.5 Résultats des simulations Molino : évolution des parts modales

Concernant le volume de trafic cumulé sur les trois modes, la figure 6.6 permet de constater une légère baisse de trafic sur la route, de l'ordre de 160 millions de tonnes sur 50 ans.

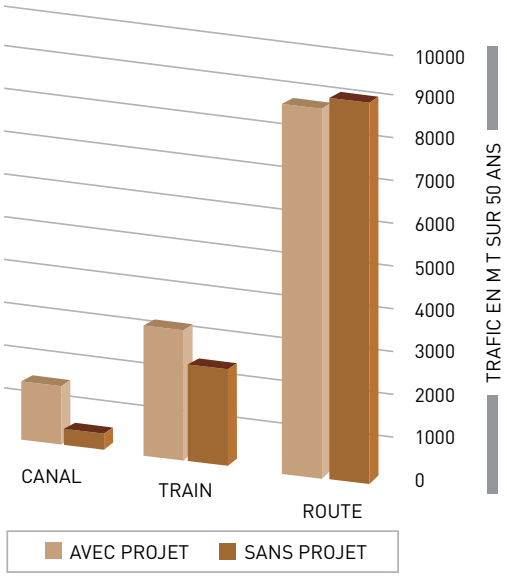


Figure 6.6 Volume de trafic selon le mode avec et sans projet

Une légère baisse de trafic routier est observée, de l'ordre de 160 millions de tonnes sur 50 ans. Cette réduction se traduit par environ 200 000 camions par an de moins sur les routes en raison du report modal.

Une nette différence est bien sûr constatée sur le canal, le trafic y passant de 270 millions de tonnes sans projet à près de 1400 Mt sur 50 ans. On constate aussi une augmentation significative du trafic pour le mode ferroviaire. Il est à noter que nous n'avons pas considéré de contraintes d'ordre technique ou d'exploitation : le choix du mode de transport est déterminé sur la base des coûts généralisés de transport. A titre d'exemple, la SNCF pourrait influencer le volume de trafic transporté sur le ferroviaire via notamment une réorganisation de ses services.

6.5.5 - CALCUL DES ÉMISSIONS DE CO_2

Les émissions de CO_2 dépendent du mode de transport. Les chiffres utilisés pour le calcul des émissions sont présentés dans le tableau 6.5.[75]

MODE	EMISSIONS
Fluvial	30 g/t.km
Ferroviaire	6 g/t.km
Route	133 g/t.km

Tableau 6.5 Emissions de CO_2 selon le mode de transport

75 Voir par exemple http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=16309

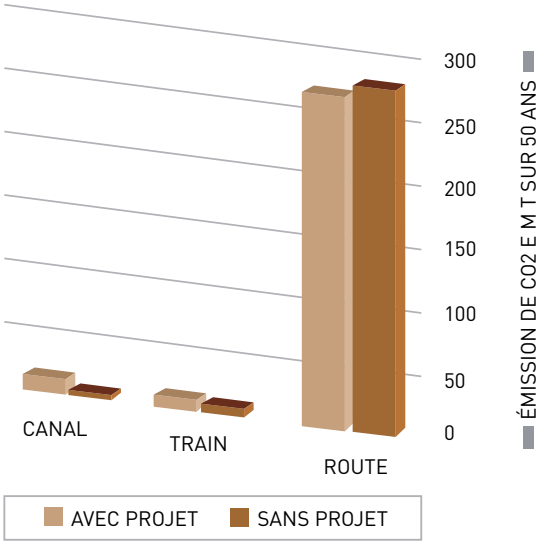


Figure 6.7 Emissions de CO_2 selon le mode avec et sans projet

Le projet conduit à une augmentation des émissions de CO_2 de l'ordre de 7 millions de tonnes. L'important trafic induit en est bien entendu la cause.

Comme illustré par la figure 6.7, Les émissions de CO_2 de la route sont légèrement inférieures dans le cas de réalisation du projet. Cette baisse des émissions est appelée à se poursuivre à plus long terme, suite à la saturation du trafic routier. Sur le canal on constate une nette augmentation des émissions en raison de l'augmentation importante du trafic. Les émissions ferroviaires quant à elles sont assez stables, en légère augmentation.

Deux remarques peuvent être formulées :

D'une part l'étude a été réalisée en considérant des technologies constantes. Il apparaît cependant que le mode fluvial offre des potentialités significatives en matière de réduction des émissions. Ainsi, aucune norme d'émission n'est actuellement imposée sur les moteurs des péniches.

D'autre part, l'accroissement absolu des émissions provient du trafic induit.

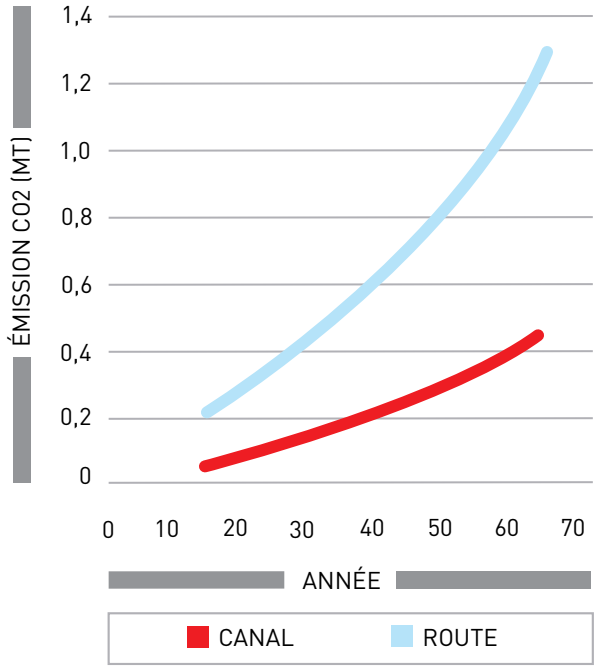


Figure 6.8 Emissions de CO_2 dans le cas ou le trafic induit serait totalement transporté par le canal ou la route

La figure 6.8 illustre comment le canal limite l'accroissement des émissions, même à technologie constante. Une augmentation significative de l'activité économique pourrait donc être obtenue via l'emploi de mode de transports plus écologiques.

• 6.6 - CONCLUSIONS : UN TRAFIC PLUS ÉLEVÉ, MAIS PLUS PROPRE

L'étude que nous avons menée dans le cadre du *projet Carbone* a mis en évidence certains points à propos du projet d'extension du canal Seine-Nord Europe. Outre l'étude des transferts entre modes concurrents, nous avons montré que les revenus générés par le péage proposé par VNF sont limités et ne suffisent pas par eux-mêmes à compenser les investissements pour la grande majorité des cas envisagés. La prise en compte de l'incertitude peut cependant conduire à des valeurs plus élevées des revenus du péage, sans pour autant parvenir à une rentabilité stricte. Cependant le projet devrait entraîner un développement économique significatif.

Les avantages attendus ne se limitent cependant pas aux revenus financiers du péage. En fournissant le chaînon manquant au réseau fluvial de l'Europe du Nord Ouest, le projet s'insère dans une rationalité globale, au sein d'une politique des transports d'ensemble, tournée vers la lutte contre le changement climatique par le report modal.

Le projet a pour objectif ultime la construction d'un maillon actuellement manquant, destiné à favoriser l'effet de réseau interne propre à la voie navigable ainsi qu'à la mise en réseau avec les ports maritimes et les autres modes. Il vise un meilleur équilibre modal, une inter modalité plus systématique et satisfait à un souci de précaution : en cas de congestion ou d'indisponibilité de la route et du fer, on disposera d'un réseau reliant les plus grandes régions économiques européennes.

Il y a parallèlement un aspect économique général important, lié à la construction de l'infrastructure: effet de relance, emploi, stimulation de l'activité économique des régions traversées. Cet effet sera appelé à se poursuivre avec l'activité liée au canal.

En plus du transport de marchandises, le canal a aussi d'autres avantages : tourisme et surtout participation à la gestion de la crue dans les régions traversées, fonction qui est appelée à prendre une importance accrue avec le changement climatique.

Le reproche de lenteur au mode fluvial est courant mais n'a guère de sens. La clientèle a besoin de recevoir les marchandises à l'heure prévue, mais pas nécessairement rapidement (voir l'utilisation de la voie d'eau comme «stock flottant»). Il n'y a donc pas lieu d'exiger une forte valeur du temps dans l'évaluation économico-financière du tronçon pour le justifier, comme on l'a fait si souvent pour les autoroutes par exemple, avec les effets que l'on connaît.

Concernant l'impact sur les émissions de CO_2, le projet ne permet pas la réduction absolue en valeur des gaz à effet de serre, suite à l'apparition d'un trafic induit important. Cependant le gain relatif est appréciable. De plus, la possibilité de moderniser la conception et la motorisation des bateaux n'a pas été prise en compte, alors qu'une marge importante semble exister. Par ailleurs le trafic transféré de la route vers le canal, même modeste, peut être décisif en évitant la congestion sur l'autoroute et donc en évitant des nuisances et d'éventuels travaux d'infrastructure.

Il est difficile de définir précisément le gain relatif dans la limitation des émissions de CO_2 obtenu suite à ce report modal. Une des raisons est la topologie spécifique des réseaux associés aux différents modes. Cependant le transfert du trafic vers des modes plus respectueux de l'environnement serait favorisé par des efforts structurels autour des opérateurs concernés. Par exemple, une fusion des opérateurs des canaux et des voies ferrées permettrait probablement de conduire à une meilleure symbiose de ces deux modes plus propres.

7. CONCLUSIONS

Les différents travaux réalisés dans le cadre de ce projet ont considéré des points de vue variés, allant d'études macroéconomiques jusqu'à une étude de type analyse coût-bénéfice consacrée à un projet particulier et significatif. L'objectif commun était de mettre en avant quelques méthodes permettant d'estimer comment la combinaison de certaines mesures pourrait contribuer à la réduction des émissions de CO_2, plus particulièrement dans le secteur du transport.

La problématique de réduction des GES s'étend à l'échelle mondiale et porte sur le très long terme. Un des objectifs de cette étude a été la prise en compte explicite de ces deux dimensions.

Dans cette problématique, c'est la somme des émissions qui est déterminante, quel que soit le secteur à l'origine des émissions. Pour l'économie française, il importe donc de minimiser le coût total permettant le respect de ses engagements climatiques. Nous avons montré que le prix d'un droit d'émission sur le marché international reste un des marqueurs les plus importants permettant d'apprécier le coût d'une politique dans le secteur des transports. Il ne s'agit donc pas de poursuivre un objectif absolu d'émission par secteur, mais bien de partir d'une valeur carbone unique. Les efforts dans le secteur du transport devront être amplifiés s'ils conduisent à une réduction au moindre coût. Dans cette étude nous avons montré que la valeur cible du carbone dépend fortement de la définition géographique du marché des droits d'émission. Une restriction de l'étendue de ce marché conduit à une augmentation de la valeur de référence du carbone et donc à une redéfinition importante de l'ampleur des politiques à mettre en œuvre pour la France.

Notre approche internationale nous a aussi permis d'examiner les effets d'une politique climatique mondiale ambitieuse sur le niveau d'activité dans les services de transport et dans le secteur des équipements de transport. Il a été constaté que le secteur des équipements de transport, comprenant la production de véhicules, se trouve beaucoup moins affecté que celui des services de transport. En effet, l'amélioration de la performance énergétique des équipements de transport conduisant généralement à leur renouvellement, représente une étape importante dans la réalisation des objectifs de réduction des émissions.

L'automobile constitue une source toujours croissante d'émissions de CO_2. Elle est aussi cause d'autres externalités négatives, comme les accidents et la congestion. Les politiques actuelles de contrôle de ces externalités reposent principalement sur une combinaison de taxes sur l'essence et de normes de consommation de carburant pour les voitures. Une amélioration du contrôle de ces externalités conduira à une évolution vers un autre système de taxation, où la taxe sur l'essence sera substituée par des taxes carbone, des taxes sur les accidents, des mesures s'adressant spécifiquement à la congestion et des taxes sur les autres externalités. Un tel système ne conduirait pas à une augmentation des émissions de GES en France. En effet certains modes de transport devront diminuer en volume, et cette diminution constituera le facteur dominant dans la réduction des GES.[76]

76 Proost S., Delhaye E., Nijs W., Van Regemorter D. (2009), «Will a radical transport pricing reform jeopardize the ambitious EU climate change objectives?»

La taxe Carbone ne peut donc constituer l'unique mesure permettant de réduire les émissions de CO_2. Elle ne doit pas être rejetée pour autant. Combinée à des taxes permettant de capter la rente des producteurs de pétrole, elle devrait s'inscrire dans une refonte plus profonde de la fiscalité.

La problématique des taxes sur le pétrole permettant de capter les rentes pétrolières n'est pas très différente de celle autour d'un accord mondial sur la réduction des émissions de GES. En effet, un accord entre les pays grands consommateurs de pétrole est nécessaire pour le transfert des rentes pétrolières vers les gouvernements nationaux. Un tel accord n'a pas vu le jour jusqu'à présent.

L'efficacité d'une mesure politique comme la taxe carbone peut être améliorée par une analyse récurrente des comportements des consommateurs, permettant d'appréhender la diversité des réponses possibles. Les résultats de cette analyse faciliteront la définition et la mise en place de mesures d'accompagnement ou de compensation appropriés.

L'incertitude autour de l'environnement international constitue un facteur important à prendre en compte lors de l'évaluation de l'impact des mesures politiques. Il faut bien constater qu'un accord similaire à celui négocié à Kyoto, basé sur des objectifs de résultats, a rarement permis d'obtenir les résultats escomptés. Comme déjà rappelé, la nature du dommage causé par les émissions de GES, un dommage global et à long terme, n'arrange pas les choses. Nous estimons qu'il est donc probable qu'il n'y aura pas d'accord international efficace en matière de réductions d'émissions avant longtemps. La question devient alors de déterminer des politiques nationales efficaces à la réduction des émissions dans un monde qui n'est pas nécessairement coopératif.

Dans ce cadre, la mise en place de mesures réglementaires telles que des normes ou des incitations fiscales sur les véhicules fixant ou favorisant l'utilisation de technologies plus sobres, s'avère à notre avis comme une piste permettant d'offrir des résultats globalement plus efficaces qu'une politique de prix pure. Cela est principalement dû à des effets de réseau, dont la propagation des retombées technologiques est un exemple. Il se pourrait donc qu'une diminution des émissions en France obtenue via une norme technologique d'origine française ou européenne conduise in fine à un effet mondial beaucoup plus important que ce qui résulterait d'une taxe. La diffusion de technologies plus propres en dehors de l'EU constituerait le moteur d'un tel effet. L'attrait de ce type de mesures se renforce dans l'hypothèse où les autres acteurs majeurs ne s'engageraient pas dans des accords internationaux contraignants.

Au niveau urbain, nous avons étudié de façon spécifique les effets court et long terme d'un péage. L'instauration d'un péage urbain conduit rapidement à une limitation des déplacements qui se caractérisent par des coûts externes élevés. Cet effet a été observé notamment à la mise en place du système de péage de zone à Londres. A long terme les conséquences du péage s'étendent à la forme urbaine.

En effet, les décisions de localisation des ménages et des entreprises à long terme tiennent compte de l'existence éventuelle d'un péage.

Notre analyse confirme les avantages d'un péage dit de cordon. Ce schéma de tarification aboutit à un niveau de concentration urbaine important. Il permet une réduction des émissions de CO_2 de l'ordre de 11%, un taux comparable à l'impact d'un péage optimal. Le péage permet aussi une réduction de même ordre du temps de trajet. Bien que la ville devienne plus dense, la surface d'habitation ne diminue pas sensiblement car le terrain alloué au transport se réduit.

L'organisation des transports collectifs permet d'obtenir un gain supplémentaire au niveau de la réduction des émissions. La structure géographique du réseau de transport et la tarification des déplacements constituent ici les deux aspects pertinents. La structure du réseau dépend principalement du rapport du coût d'usage entre les différents modes disponibles. Nous avons utilisé notre modèle pour étudier la formation des agglomérations périurbaines. Les résultats préliminaires obtenus dans le cadre de cette étude montrent que la politique des transports publics n'a pas un impact significatif sur les émissions des ménages au niveau de leur foyer, via la densification des habitats. Le report modal vers des transports collectifs reste la cause la plus importante de limitation des émissions.

En résumé, si le système de transport collectif disponible est peu polluant et s'il est à même d'attirer la grande partie des habitants des régions péri-urbaine, alors une politique de rapprochement des ménages vers le centre urbain ne doit pas être prioritaire. Par contre, une éventuelle dépendance des ménages à une voiture particulière peut justifier une telle politique.

L'exemple important traité ici confirme que des mesures de tarification du transport urbain conduisent à un gain de bien-être accompagné d'une réduction des émissions. Ces mesures permettront aussi la modification à long terme de la structure urbaine, entra înant une réduction de la place allouée à l'automobile.

L'étude de cas sur l'extension du canal Seine-Nord Europe, un projet emblématique d'infrastructure destiné à favoriser un report modal plus sobre, confirme l'importance de la prise en compte d'une série d'aspects sortant habituellement du cadre d'une analyse coût bénéfice. Les effets de réseau générés par le projet en sont un exemple, ainsi que l'intérêt de la mise en œuvre de mesures d'accompagnement, de nature structurelle ou réglementaire. Par ailleurs, nous avons montré comment tenir compte de manière explicite de l'incertitude de certains paramètres clefs. Pour l'exemple étudié, la réalisation de l'ouvrage pourrait mener à une forte augmentation de la demande totale de transport, se traduisant par une augmentation absolue des émissions de CO_2. Ces émissions induites sont cependant fortement inférieures à ce qui aurait été obtenu si l'augmentation du trafic avait uniquement eu lieu sur la route.

→ En guise de synthèse...

Nous avions présenté au début ce rapport [77] une esquisse de classification des instruments politiques susceptibles de conduire à une limitation des émissions. Les instruments réglementaires et de marché y étaient évoqués, et l'importance de la coopération internationale soulignée. Au terme de cette étude, nous ne pouvons que constater la complémentarité nécessaire d'instruments provenant de ces différentes catégories. Comme nous l'avions déjà signalé, une coopération internationale efficace est nécessaire à l'efficacité des instruments politiques. Cependant, une sorte de réciproque est sans doute vraie. Une série de mesures réglementaires comme des normes d'émissions, peuvent par un effet de réseau entraîner un nombre suffisant de pays à adapter des mesures similaires, et ainsi fournir une nouvelle base pour un accord international. Par ailleurs, l'efficacité des mesures de marché, comme les taxes carbone, serait améliorée si ces mesures étaient complétées par des mesures ciblées de tarification, ou des mesures portant sur l'efficacité énergétique des véhicules. Le tableau 7.1 complète notre classification initiale, mettant en valeur certaines de ces interactions.

L'incertitude inhérente de la problématique des émissions ainsi que les aspects dynamiques à long terme se trouvent renforcés par les différents chemins possibles qui s'offrent pour le futur. Sans compter que dans la problématique globale des risques associés au changement climatiques, le CO_2 n'est qu'un des principaux suspects.

Par ailleurs, la pertinence des analyses coûts/bénéfices des projets d'investissements se trouve renforcée par une prise en compte explicite de l'incertitude, des aspects dynamiques et de l'environnement global. Sur ce sujet, remarquons que le Centre d'Analyse Stratégique a mis en place en 2009 une commission présidée par Christian Gollier chargée de déterminer les avancées théoriques actuelles les plus applicables dans l'évaluation des décisions des pouvoirs publics.[78] Cette commission, intitulée « Prise en compte du risque dans le calcul socio-économique», considérera notamment la question de la prise en compte explicite des différentes sources de risque affectant les grands projets d'investissement que l'utilisation d'un taux d'actualisation majoré pour tenir compte du risque.[79]

77 voir le tableau 2.3 de la section 2.4
78 Bureau D. et Gollier C. (2009) «Evaluation des projets publics et développement durable»
79 voir à ce sujet Andrieu, L., A. de Palma, N. Picard (2007). "Intégration du risque et de l'incertitude dans la construction du calcul économique"

MESURES	AVANTAGES	INCONVENIENTS	REMARQUES
Coopération internationale	Impact global, à l'échelle adaptée au dommage	Difficulté de mise en oeuvre. Quid des non participants et des tricheurs ?	L'établissement d'un accord efficace est un processus à long terme. Des objectifs de moyens pourraient en renforcer la structure. Un traité amélioré peut tenir compte des performances de mesures réglementaires ou de mesures de marché.
Mesures de marché : Permis d'émissions négociables	Instrument de marché flexible potentiellement global.	Peu d'expérience. Difficultés de mis en oeuvre efficace	L'efficacité dépend de l'étendue géographique du marché
Mesures de marché : Taxes sur les carburants - Taxe Carbone	Instruments de marché flexible. Principe pollueur – payeur. Traite directement l'externalité. Une taxe sur le carburant peut capter la rente	Peu discriminante et non équitable. Perte potentielle d'efficacité dans certains cas. Taxes déjà élevées sur les carburants. Mauvaise perception du public.	L'efficacité peut en être améliorée si combinaison avec d'autres mesures réglementaires comme mesures de tarification de la congestion
Mesures réglementaires: normes d'émission sur les véhicules	Mesures ciblées, spécifiques	Peu efficace dans l'absolu (effet de rebond)	Intéressante en combinaison avec des taxes, surtout en cas de coopération internationale peu efficace.

7.1 Quelques mesures ayant un impact sur les émissions et leur interactions

Le programme proposé peut sembler ambitieux, mais le défi posé par la problématique du changement climatique est de nature exceptionnelle. Dans un livre au titre troublant[80], Jarred Diamond montre comment la disparition de certaines civilisations a notamment eu pour cause certains facteurs environnementaux, comme une succession de mauvaises récoltes, des périodes de sécheresse ou de variation climatiques. Paradoxalement, cet essai offre aussi un message d'espoir, puisqu'il fournit aussi certains exemples de sociétés ayant su relever des changements de leur environnement grâce à une adaptation de leur mode de vie. Pour le thème qui nous a ici occupés, il nous semble clair qu'une adaptation efficace comprendra une série de mesures dans tous les secteurs susceptibles de conduire à une limitation des émissions de GES. En ce qui concerne le secteur des transports, il existe donc quelques pistes susceptibles de générer un double dividende.

80 Diamond J. (2007), « Effondrement – Comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie ».

8 | BIBLIOGRAPHIE

- Aguilera R.F., Eggert R.G., Lagos G. et Tilton J.E. (2009), «Depletion and the Future Availability of Petroleum Resources» , Energy Journal, Vol 30, N°1, p. 141-174.
- Andrieu, L., A. de Palma, N. Picard (2007). «Intégration du risque et de l'incertitude dans la construction du calcul économique», in Le calcul économique - nouvelles perspectives, Y. Crozet et J. Maurice eds, Economica.
- Arnott R., de Palma A. et Lindsey R. (1993), «A Structural Model of Peak-Period Congestion: A Traffic Bottleneck with Elastic Demand», American Economic Review, American Economic Association, vol. 83(1), p.161-79.
- Barla P. et Proost S.(2009), «Automobile Fuel Efficiency Policies with International Cost Spillovers», WP.
- Barrett, S. (2003), «Environment & Statecraft», Oxford University Press.
- Barrett, S. (1994), «Self enforcing international agreements», Oxford economic Papers, p. 878-894.
- Bernadet M. (2007), «L'évaluation socio-économique du projet de canal Seine-Nord Europe», Transport, N°442, p.87-97.
- Boiteux M. (2001), « Transports : choix des investissements et coût des nuisances », Commissariat général du plan, téléchargeable via http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/014000434/index.shtml.
- Bonnafous A. (2009), « La loi « Grenelle I » le canal et l'effet de serre », Transport, N° 453, p. 16-23.
- Branstetter L. (1998), «Looking for international knowledge spillovers: A review of the literature with suggestions for new approaches». Annales d'économie et de statistiques 49/50, p. 517-540.
- Bureau, D. et Gollier, C. (2009)«Evaluation des projets publics et développement durable» Conseil économique pour le développement durable, Références économiques n°8
- Chiroleu Assouline, M. (2007), « Efficacité comparée des instruments de régulation environnementale », Notes de synthèse du SESP (MEEDDAD), 2, 167, p. 7-17.
- Cincera M. et B. Van Pottelsberghe de la Potterie (2001), « International R&D spillovers: a survey » Cahier Economiques de Bruxelles 169(1), p. 1-20.
- Coe D. et E. Helpman (1995), «International R&D spillovers» European Economic Review 39, p. 859-887.
- Combes F., A. de Palma et S. Proost (2009), «Environmental pollution, congestion and imperfect competition in the car market », Ecole Nationale supérieure de Cachan, Mimeo.
- Combet E., Ghersi F., Hourcade J.C., et Thubin C. (2009), « Economie d'une fiscalité carbone en France », CIRED, mimeo.

- Crozet Y., Lopez-Ruiz H., Château B., Bagard V. (2008), « Comment satisfaire les objectifs internationaux de la France en termes d'émissions de gaz à effet de serre et de pollution transfrontières ? », Programme de recherche consacré à la construction de scénarios de mobilité durable. Rapport final PREDIT 11.
- De Lara M., de Palma A., Kilani M., et Piperno S. (2008), «Congestion pricing and long term urban form: Application to Île de France», Ecole polytechnique, Cahier 2008-14.
- de Palma et Kilani,M. (2008) « Regulation in the automobile industry », International Journal of Industrial Organization, 26, p.150-167.
- de Palma A., Kilani M., De Lara M., et Piperno S. (2008), « Cordon pricing in the Monocentric City Model: Theory and Application to Île de France», Ecole Polytechnique Cahier 2008-13.
- de Palma A. et Pringent JL.,(2008), «Hedging global environment risks; An option based portfolio insurance», : Hedging global environment risks: An option based portfolio insurance, Automatica, 44(6), p. 1519-1531.
- de Palma A., Proost S. et Van der Loo S. (2008), «MOLINO-II a model for assessing pricing and investment strategies for transport infrastructure», Transportation research record, 2079, p. 62-70.
- de Palma, A., Proost S. et Van der Loo S. (2010), "Assessing transport investments – towards a multi-purpose tool", à venir dans Transportation Res. Part B- Methodological
- Diamond J. (2007), « Effondrement – Comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie », Gallimard.
- Dreyfus M. et K. Viscusi (1995), «Rates of time preference and consumer valuations of automobile safety and fuel efficiency» Journal of Law and Economics 38, p. 79-105.
- Fraunhauser P., Houot H., Tannier C. et Vuidel G. (2008), « Vers des déplacements péri-urbains plus durables: proposition de modèles fractals opérationnels d'urbanisation »,Rapport final projet PREDIT (05MT 5020) Groupe opérationnel n°1.
- GIEC, Assessment report 4 (AR4) (2007), téléchargeable sur http://www.ipcc.ch/home_languages_main_french.htm
- Greene D., P. Patterson, M. Singh et J. Li (2005), «Feebates, rebates and gas-guzzler taxes: a study of incentives for increase fuel economy», Energy Policy 33, p. 757-775.
- Guesnerie, R. (2004), «Calcul économique et développement durable» Revue économique, 55(3); p. 363–82.
- Hamilton, J. (2009), « Understanding crude oil prices », Energy Journal, vol 30, no. 2, p. 179-206.
- Hashmi A.R. et Van Biesebroeck J. (2007), « Market Structure and Innovation : A Dynamic Analysis of the Global Automobile Industry » MPRA Paper 1787, University Library of Munich, Germany téléchargeable sur http://mpra.ub.uni-muenchen.de/1787/.

- Heal, G. (2008), « Climate Economics : a Meta-Review and some Suggestions for Further Research », Review of Environmental economics and Policy, p. 1-19, disponible sur le site http://www2.gsb.columbia.edu/faculty/gheal/REEP%20Published%20CC.pdf
- Hotelling, H. (1931),«The Economics of Exhaustible Resources», Journal of Political Economy, vol. 39, p.137-175.
- Human Development Report 2007/2008 (2007), «Fighting climate change: Human solidarity in a divided world», UNDP,. http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2007-2008/
- Lebègue D. (2005), « Révision du aux d'actualisation des investissements publics », rapport du groupe d'experts, Commissariat général du Plan.
- Mayeres, I., Proost, S. (2003), «Achieving equity through urban transport pricing". dans: de Palma A., Quinet E. (Eds.), La tarification des transports. Pourquoi? Pour qui? Les défis d'aujourd'hui et de demain», Economica.
- Murdoch, J.C. et Todd Sandler (1997), «The voluntary provision of a pure public good: The case of reduced CFC emissions and the Montreal Protocol»,Journal of Public Economics, 63(3); p. 331-349.
- National Research Council (2006), «State and Federal Standards for Mobile Source Emissions», Washington D.C.: National Academy Press.
- Pascal, B.(1670) «Les Pensées», disponible sur http://www.bribes.org/trismegiste/pastable.htm.
- Pielke R Sr.,(2008) «A broader view of the role of humans in the climate system», Physics Today, 61, 11, p. 54-55.
- Prud'homme R. (2006), "Analyse socio-économique du projet de canal Seine-Nord", Transports, N° 440, p. 362-365.
- Proost S., Delhaye E., Nijs W., Van Regemorter, D. (2009), «Will a radical transport pricing reform jeopardize the ambitious EU climate change objectives?», Energy policy, vol. 37, no. 10, p. 3863 - 3871.
- Quinet, A. (2008)« La valeur tutélaire du Carbone », Centre d'Analyse Stratégique.
- Quinet, E. (1998), «Principes d'économie des transports », Economica.
- Rawls, J. (1997), «Théorie de la justice», Seuil.
- Raux, C. et Souche S. (2001), «L'acceptabilité des changements tarifaires dans le secteur des transports : comment concilier efficacité et équité » Revue d'économie régionale et urbaine, n°4, p. 539-558.
- Stern, N. (2006) «Stern Review on the Economics of Climate Change», Cambridge University Press, téléchargeable sur http://www.hm-treasury.gov.uksternreview_index.htm
- Stern N. (2008), «The Economics of Climate Change», American Economic Review Papers and proceedings, 98;2, p.1-37.

- Rocard, M. (2009), « Rapport de la conférence des experts et de la table ronde sur la contribution Climat et Énergie », téléchargeable sur http://www.contributionclimatenergie.fr/
- Small K. and K. Van Dender (2007), «Fuel efficiency and motor vehicle travel: the declining rebound effect» The Energy Journal 28, p. 25-51.
- Tolstoï, L. (1877), «Anna Karénine», Edition Gallimard, 1951.
- Verboven F. (2002), «Quality-based Price Discrimination and Tax Incidence – the Market for Gasoline and Diesel Cars In Europe» RAND Journal of Economics 33(2), p. 275-297.
- VNF (2006), « Liaison fluviale européenne Seine- Escaut : Canal Seine-Nord Europe, Evaluation socio-économique », Voies navigables de France.

9 | WEBOGRAPHIE

- Données INSEE sur l'Île-de-France :
  voir www.iaurif.org
- Emissions de GES en Île-de-France :
  voir http://www.airparif.asso.fr/emissions/emisidf.php
- Emissions pour le transport fluvial :
  http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=16309
- Engagement Européen à l'horizon 2020 ;
  voir à ce sujet http://register.consilium.europa.eu/pdf/fr/08/st03/st03738.fr08.pdf
- Engagement de la France pour le protocole de Kyoto :
  voir à ce sujet http://www.citepa.org/emissions/france_objectifs/index.htm
- Etats-Unis et politique Climatique :
  Pour suivre le parcours du projet de Loi 2009 sur le climat du Gouvernement Américain http://www.govtrack.us/congress/bill.xpd?bill=h111-2454
- Grenelle Environnement : Voir le site consacré à ce sujet
  http://www.legrenelle-environnement.fr/IMG/pdf/Fiche_2.pdf
- Inventaire des émissions françaises : voir les publications du CITEPA
  http://www.citepa.org/publications/Inventaires.htm#inv1
- Modèle GEM-E3 : une description détaillée se trouve sur le site
  http://www.gem-e3.net/index.htm
- Programme californien de réduction des émissions :
  consulter le site http://www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/lcfs.htm
- Rapports du GIEC :
  - Les rapports, ainsi que des résumés pour les décideurs peuvent être téléchargés sur le site http://www.ipcc.ch/home_languages_main_french.htm.
  - Une synthèse de l'AR se trouve sur le site :
  http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/SYR-_FINALfr.pdf.
- Permis d'émissions : Les cours quotidiens des permis européens d'émissions de CO_2 peuvent être consultés sur le site http://www.eex.com/en

Liste des tableaux

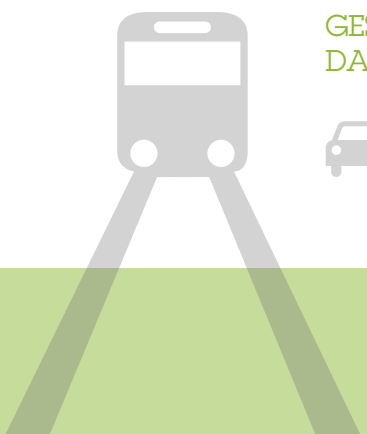
- Tableau 2.1 → Emissions annuelles en tonnes de CO_2 par habitant pour quelques pays, dont la France (données HDR)
  P. 18
- Tableau 2.2 → France – Répartition des émissions de CO_2 par secteur (CITEPA Inventaire Mars 2009)
  P. 19
- Tableau 2.3 → Classification des instruments politiques
  P. 24
- Tableau 3.1 → Hypothèses associées avec le scénario au fil de l'eau
  P. 35
- Tableau 3.2 → Effets macro-économiques d'un scénario coopératif et non-coopératif
  P. 36
- Tableau 3.3 → Impact d'une restriction géographique du marché des permis d'émission
  P. 37
- Tableau 3.4 → Impact de l'objectif facteur 4 dans le domaine du transport
  P. 38
- Tableau 3.5 → Scénario 2020+ — Impact d'un effort supplémentaire en France dans les secteurs du transport et du résidentiel
  P. 39
- Tableau 3.6 → Influence de la réaffectation des recettes pour le scénario 2020+
  P. 40
- Tableau 5.1 → Résultats de l'application du modèle monocentrique au cas de l'Île-de-France
  P. 55
- Tableau 6.1 → Résumé de l'étude de rentabilité de VNF (VNF, 2006)
  P. 68
- Tableau 6.2 → Résultats absolus dans le cas avec projet. Comparaison entre les résultats VNF et ceux obtenus par le calage de MOLINO (MOL). Les données sont en Millions de Tonnes
  P. 72
- Tableau 6.3 → Résultat des simulations. Volumes annuels de trafic en millions de tonnes (MT) pour l'année 2020, en fonction des paramètres incertains
  P. 73
- Tableau 6.4 → Revenus du péage sur 50 ans d'exploitation selon les paramètres incertains (Milliards €)
  P. 74
- Tableau 6.5 → Emissions de CO_2 selon le mode de transport
  P. 76
- Tableau 7.1 → Quelques mesures ayant un impact sur les émissions et leur interactions
  P. 84

Liste des figures

- Figure 3.1 → Modélisation des échanges de l'économie mondiale dans GEM-E3
  P. 32
- Figure 3.2 → Effort de réduction de chaque pays signataire ou non à un traité portant sur la réduction des émissions. Le signe BM indique le bénéfice marginal
  P. 34
- Figure 3.3 → La rareté du pétrole conduit à une rente pour le producteur
  P. 42
- Figure 3.4 → L'instauration d'un droit d'accises permet de récupérer la totalité de la rente de rareté en la transformant en recettes fiscales
  P. 42
- Figure 3.5 → Une combinaison d'une taxe monopolistique et d'une taxe carbone permet de limiter la consommation à la valeur désirée.
  P. 43
- Figure 5.1 → Densité de l'habitat en fonction de la distance pour les différents types de péage.
  P. 58
- Figure 5.2 → Modèle des transports en commun avec une seule station
  P. 60
- Figure 5.3 → Destinations des trajets domicile–travail issus de Noisy-le-Grand (Source IAURIF)
  P. 62
- Figure 6.1 → Le canal Seine-Nord Europe, représenté en traits pointillés. Le gabarit actuel de ce canal restreint le réseau fluvial Nord Ouest Européen (VNF, 2006)
  P. 67
- Figure 6.2 → Loi jointe de tirage des paramètres incertains utilisée pour cette étude
  P. 71
- Figure 6.3 → Volume de trafic à l'année de mise en service selon le mode avec et sans projet
  P. 72
- Figure 6.4 → Histogramme des revenus du péage selon les paramètres incertains
  P. 74
- Figure 6.5 → Résultats des simulations Molino : évolution des parts modales
  P. 75
- Figure 6.6 → Volume de trafic selon le mode avec et sans projet
  P. 76

Liste des annexes

Les annexes se retrouvent dans le tome 2 du présent rapport.

- Annexe A → Le choix entre équité et efficience et la problématique du changement climatique
- Annexe B → Equipement automobile, type de carburant, consommation et émissions de CO_2 des véhicules privés
- Annexe C → Fiscalité, congestion et émissions de CO_2
- Annexe D → Marché des Options et taxes anti-pollution
- Annexe D-1 → Hedging global environment risks: An option based portfolio insurance
- Annexe E → Aspects macroéconomiques autour de l'objectif facteur 4
- Annexe F → Automobile Fuel Efficiency Policies with International Cost Spillovers
- Annexe G → Le modèle monocentrique et son application
- Annexe G-1 → Congestion pricing and long term urban form: Application to Île-de-France
- Annexe G-2 → Cordon pricing in the monocentric city model: theory and application to Île-de-France
- Annexe H → Transport collectif : impacts sur la dynamique urbaine et les émissions
- Annexe I → Analyse coût-bénéfice et évaluation de projets de transport avec demande et prix de l'énergie incertains. Application au canal Seine-Nord Europe

GESTION DU TRANSPORT ET DE LA MOBILITE
DANS LE CADRE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE