



CONSEIL FRANÇAIS DE L'ÉNERGIE
WORLD ENERGY COUNCIL

Effets redistributifs des politiques énergétiques et environnementales : tour d'horizon de la littérature

Institut d'Économie Industrielle (IDEI)

Rapport final – Contrat 84

2015

Le Conseil Français de l'Énergie, association reconnue d'utilité publique, est le comité français du Conseil Mondial de l'Énergie dont l'objectif est de promouvoir la fourniture et l'utilisation durables de l'énergie pour le plus grand bien de tous.

Téléphone : +33 1 40 37 69 01
Télécopie : +33 1 40 38 17 38

12 rue de Saint-Quentin – F-75010 Paris
Twitter : @CFE_WEC_France

cfe@wec-france.org
www.wec-france.org



CONSEIL FRANÇAIS DE L'ÉNERGIE
WORLD ENERGY COUNCIL

Les opinions exprimées dans ce rapport sont celles du ou des auteurs ; elles ne traduisent pas nécessairement celles du CFE ou de ses membres.
Le CFE ou ses membres ne peuvent être tenus responsables de l'usage qui pourrait être fait des informations contenues dans ce rapport.

Le Conseil Français de l'Énergie, association reconnue d'utilité publique, est le comité français du Conseil Mondial de l'Énergie dont l'objectif est de promouvoir la fourniture et l'utilisation durables de l'énergie pour le plus grand bien de tous.

Téléphone : +33 1 40 37 69 01
Télécopie : +33 1 40 38 17 38

12 rue de Saint-Quentin – F-75010 Paris
Twitter : @CFE_WEC_France

cfe@wec-france.org
www.wec-france.org



Contrat CFE / IDEI

André Grimaud – Norbert Ladoux

06/07/2015

Contenu

RESUME.....	4
INTRODUCTION.....	6
CHAPITRE 1: L'ARBITRAGE ENTRE EFFICACITE ECONOMIQUE ET REDISTRIBUTION SOULEVE PAR CES POLITIQUES ECONOMIQUES: QUESTIONS DE BASE.....	8
I. HETEROGENEITE DES AGENTS ECONOMIQUES ET IMPACTS DES POLITIQUES ENERGETIQUES ET ENVIRONNEMENTALES.....	9
A. Exemple 1 : le cas de ménages ayant des revenus différents.....	9
B. Exemple 2 : Générations présentes et générations futures	10
C. Exemple 3 : le cas de pays (ou régions) ayant des PIB/tête différents.....	11
D. Exemple 4 : pays (ou régions) hétérogènes du fait de leurs localisations géographiques.....	12
E. Exemple 5 : pays hétérogènes du fait de leurs avoirs différents en ressources fossiles (pays producteurs/pays utilisateurs) ; les transferts de rentes induits par les politiques énergétiques et environnementales.....	12
a) Le problème.....	12
b) Le cas des ressources non renouvelables.....	13
II. PROBLEMES SOULEVES PAR L'HETEROGENEITE DES AGENTS ECONOMIQUES	15
III. « FIRST BEST »- CAS OU IL N'Y A PAS DE CONFLIT ENTRE EFFICACITE ECONOMIQUE ET REDISTRIBUTION : LES POLITIQUES DE PREMIER RANG PEUVENT ÊTRE MISES EN OEUVRE.....	16
A. Le principe.....	16
B. L'exemple d'un prix du carbone (taxe ou permis négociables)	18
a) Les effets d'efficacité économique de la taxe pigouvienne.....	18
b) Les effets redistributifs de la taxe carbone	19
IV. « SECOND BEST » - L'ARBITRAGE ENTRE EFFICACITE ECONOMIQUE ET REDISTRIBUTION : LES POLITIQUES OPTIMALES DE SECOND RANG	20

CHAPITRE 2: EXEMPLES ISSUS DE LA LITTÉRATURE 22

I. POLITIQUES ENERGETIQUES ET ENVIRONNEMENTALES AFFECTANT DES MENAGES A REVENUS DIFFERENTS : LES EFFETS REGRESSIFS DE LA FISCALITE CARBONE 23

- A. Agents économiques et biens 23**
- B. Information du gouvernement et nature des outils de politique économique ... 24**
 - a. Problèmes de base 24**
 - b. Les hypothèses retenues 25**
- C. L'externalité environnementale de base 25**
- D. Le First Best 25**
- E. Le Second Best 26**

II. CHANGEMENT CLIMATIQUE ET REDISTRIBUTION 27

- A. Quelques rappels 28**
 - a) Emissions de GHG_s-concentration-températures 28**
 - b) Qui est/sera affecté par le changement climatique ? 29**
 - c) La nature des coûts : le Coût Social du Carbone (SCC : « Social Cost of Carbon ») 29**
- B. Comment les économistes traitent ces questions : les modèles d'équilibre général dynamique 30**
 - a) Les modèles d'équilibre général dynamique 30**
 - b) Croissance économique et émissions de Gaz à effet de serre (GHG) : le volet technique des modèles et la possibilité, ou non, d'atteindre un état de « croissance verte » 31**
 - c) Quelques enseignements de ces modèles : le volet économique et les incitations à mettre en place pour améliorer le bien-être social 32**
- C. Hétérogénéité, souveraineté et redistribution 32**
 - a. Hétérogénéité et souveraineté 33**
 - b. Les problèmes posés 33**
 - c. Deux outils possibles : taxe carbone ou permis échangeables (« cap and trade ») 34**

III. UN MONDE DE « SECOND RANG » 36

CONCLUSION 38

REFERENCES 39

EFFETS REDISTRIBUTIFS**DES POLITIQUES ENERGETIQUES ET ENVIRONNEMENTALES****André Grimaud et Norbert Ladoux****1- Pourquoi les politiques énergétiques et environnementales ont-elles des effets redistributifs ?**

Réponse : parce que les agents qu'elles affectent sont **hétérogènes**.

Exemples :

- Ménages à bas revenus (consacrent 10% de leurs dépenses aux achats d'énergie taxée)/ménages à haut revenus (consacrent 5% de leurs dépenses à ces achats). Ménages vivant à l'intérieur des villes/ménages vivant à l'extérieur. Impact des politiques environnementales (donner un prix au carbone, etc.) sur les différentes générations : générations présentes/généralions futures.
- Pays (régions) en développement/pays développés. Pays différents par leurs localisations géographiques (Sud/Nord, etc.). Pays producteurs de ressources fossiles carbonées (pétrole-gaz-charbon)/ pays utilisateurs.

2- Pourquoi pense-t-on que ces effets redistributifs soulèvent des problèmes spécifiques ?

Réponse : il y a plusieurs types de raisons. Essentiellement :

- Des raisons **d'éthique** : ménages (ou pays) à faible revenu/ haut revenu, générations futures/généralions présentes, etc.
- Des raisons **d'efficacité économique** : comment faire en sorte que tous les pays acceptent de signer un accord sur le changement climatique ? Par exemple, comment convaincre de signer les pays producteurs de ressources carbonées, dont on prélève une partie de la rente si le carbone a un prix (soit par la mise en place d'une taxe-carbone, soit par l'utilisation d'un marché mondial de permis échangeables) ? De même, comment convaincre les pays en développement d'adhérer à un accord coûteux, alors qu'ils doivent en priorité assurer leur développement à court et moyen terme ?

3- La solution « idéale » à ces questions : l'optimum de premier rang (« first best »)

Supposons que les autorités puissent utiliser **deux types d'outils** de politique économique :

- des outils permettant de corriger les externalités environnementales (marchés de permis, taxe carbone, subventions à la R&D verte, etc.),
- des transferts entre agents économiques (entre ménages, entre pays, entre régions, etc.) permettant de compenser les effets redistributifs des premiers.

Alors, ces autorités peuvent simultanément atteindre les deux types d'objectifs qu'elles se sont fixés : efficacité économique et redistribution.

4- Les conflits entre efficacité économique et redistribution : le monde réel est un monde de second rang (« second best »)

Bien souvent, dans le monde réel, *les autorités ne peuvent pas procéder aux transferts qu'elles souhaiteraient mettre en place* entre les différents agents économiques.

Il peut y avoir plusieurs raisons à cela :

- **Des raisons d'information.** Par exemple il est difficile, voire impossible, pour les autorités, d'observer les consommations individuelles d'énergie (consommation d'essence utilisée pour les automobiles, consommation de gaz domestique, etc.) des ménages. Il est donc très difficile de connaître les effets redistributifs des politiques consistant à taxer (ou à subventionner) ces biens.
- **Des raisons liées à la souveraineté des Etats.** Par exemple, dans le cadre d'un éventuel accord sur le changement climatique au niveau international, aucune autorité ne peut imposer des transferts entre pays si ces derniers y sont opposés (c'est évidemment très différent du cas national, où l'Etat a tout pouvoir pour imposer sa politique fiscale).

Dès lors, devant l'impossibilité de procéder à tous les transferts souhaités, *les autorités doivent arbitrer entre efficacité économique et redistribution* : nous sommes dans un monde de second rang, où les deux objectifs sont difficiles à concilier. Dans ce cadre, ces autorités auront à prendre des décisions de « compromis ».

Par exemple :

- Dans le *cadre national*, la taxe sur les énergies carbonées sera inférieure à la taxe de premier rang (que l'on qualifie de taxe pigouvienne) : ceci signifie que les autorités sacrifient en partie l'efficacité économique pour limiter les effets redistributifs non désirés des ménages à bas revenus vers les ménages plus aisés.
- Dans le *cadre international* où il faut choisir le système institutionnel qui permettra de donner un prix au carbone, les questions de redistribution et de transferts incitent à pencher vers un système de permis échangeables plutôt que vers un système de taxe carbone. En effet, dans le *cas d'une taxe carbone*, la redistribution des pays les plus riches vers les pays en développement exigerait des transferts directs des premiers vers les seconds : une telle politique risque d'être impraticable car elle est trop transparente. Au contraire, dans le *cas de permis échangeables*, la redistribution peut être réalisée ex ante lors de l'allocation initiale des permis : il suffit d'allouer plus (peut-être même la totalité) des permis aux pays en développement.

Dans le même esprit, on peut penser qu'un prix du carbone (de premier rang) trop élevé se heurterait (au niveau national comme au niveau international) à des problèmes d'acceptabilité ; dès lors, on pourrait envisager une *politique climatique de second rang* avec un prix du carbone plus faible et une aide soutenue des autorités à la « R&D verte ».

EFFETS REDISTRIBUTIFS

DES POLITIQUES ENERGETIQUES ET ENVIRONNEMENTALES

INTRODUCTION

L'énergie est un facteur de production essentiel dans la production des biens économiques, et elle est souvent fortement taxée. Les politiques économiques en cause ici ont en général des *effets clairement affichés* : taxer certaines externalités (c'est le cas par exemple d'une taxe carbone) ; orienter la demande vers certains secteurs relativement à d'autres (exemple : diesel/essence) ; plus généralement, fournir des ressources à l'Etat, notamment parce que la demande est relativement inélastique au prix (au moins à court terme).

Cependant, au-delà de ces effets, les politiques énergétiques et environnementales ont des effets redistributifs entre les différents agents de l'économie. Ce sont ces effets que nous nous proposons d'étudier ici.

En premier lieu, il est nécessaire d'identifier (au moins partiellement) les agents économiques concernés par ces effets redistributifs. Nous verrons qu'ils peuvent être très divers. Il peut s'agir de ménages (bas revenus/hauts revenus ; ménages résidant à la campagne/ménages résidant en ville, etc.). Il peut s'agir aussi de pays (pays développés/pays en développement ; pays producteurs de ressources fossiles carbonées/ pays utilisateurs, etc.). Dans tous les cas, le point clé est que ces agents économiques sont hétérogènes. La principale question ici est donc *d'identifier ces éléments d'hétérogénéité*.

En second lieu nous observerons que, pour compenser (au moins partiellement) ces effets redistributifs, il semble *souhaitable (voire nécessaire) de procéder à certains transferts* entre les différents agents. Il y a au moins deux raisons pour justifier ce souhait.

D'une part, le *souci d'équité* : par exemple, l'existence d'un impôt progressif sur le revenu dans la plupart des pays montre que ce souci est aujourd'hui largement partagé ; dès lors, on peut penser que les autorités seront attentives (et donc, voudront corriger) les effets redistributifs des politiques énergétiques et environnementales.

D'autre part, dans certains cas, un *souci d'efficacité* : ici, l'exemple-clé est celui de la mise en place d'une politique de lutte contre le changement climatique. Rappelons quelques chiffres, afin de cerner les principaux enjeux.

La *concentration de gaz à effet de serre* était de 285 parties par millions (ppm) de CO₂ équivalent en 1888 ; elle est de plus de 435 ppm aujourd'hui. Les experts anticipent qu'elle atteindra le niveau de 750 ppm à la fin du XXI^{ème} siècle si on ne met pas en place de politique climatique (c'est ce qu'il est convenu d'appeler le « business as usual »).

La *température moyenne de la planète* a augmenté de 1°C depuis un siècle. On anticipe une augmentation de 2,5°C-7,5°C à la fin du XXI^{ème} siècle si aucune politique n'est menée. Les experts pensent qu'on est là en présence d'une situation très risquée, et une augmentation de 2°C leur paraît un objectif raisonnable (par rapport à la température globale du XIX^e siècle).

Pour atteindre l'objectif de $+2^{\circ}\text{C}$, il faut limiter la concentration à 530 CO_2 équivalent. Pour cela, il faudrait faire baisser les *émissions* totales annuelles de 50 milliards de tonnes de CO_2e actuellement à 20 milliards de tonnes de CO_2e en 2050-une chute par un facteur de 2,5. Donc, si ce qui est produit (« l'output mondial ») croît par un facteur de 3 dans les 40 ans qui viennent, les émissions par unité produite doivent chuter par un facteur de 7 ou 8 (3. (2, 5)). Comme la planète comptera environ 9 milliards d'habitants, cela implique des émissions d'environ 2 tonnes de CO_2e par tête en 2050.

On sait que la hausse des températures affectera les pays/régions *de façon très hétérogène* (en particulier, elle affectera plutôt les pays en développement, ou encore les ménages les plus pauvres dans les pays développés). Cependant, comme il s'agit d'un problème mondial, la mise en place d'une politique climatique efficace nécessite la participation de l'ensemble des pays du monde. C'est là que *la question des transferts entre pays devient un élément-clé de ce problème*. Si on valorise les émissions annuelles mondiales de 50 milliards de tonnes de CO_2e au prix de 25\$/tonne (selon le système choisi, cela serait la valeur d'une taxe carbone ou bien la valeur unitaire d'un permis échangeable), on obtient une valeur totale des émissions de 125 milliards de \$. C'est sur cette base qu'il faudrait trouver un système de redistribution entre pays assurant qu'ils acceptent tous de signer un accord : il apparaît bien que, au-delà des questions évidentes d'équité entre pays développés et pays en développement, les transferts entre pays sont indispensables aussi pour des raisons d'efficacité économique (faire en sorte qu'un accord sera trouvé).

En troisième lieu, dans beaucoup de cas, il peut être très difficile-voire impossible-de réaliser les transferts souhaités. La première raison invoquée par les économistes tient à des *problèmes d'information*. Par exemple, pour réaliser des transferts directs des ménages à hauts revenus vers ceux dont les revenus sont inférieurs, il est nécessaire d'observer certaines de leurs caractéristiques relatives à leurs préférences et à leur capacité à contribuer au budget de l'Etat. De même, pour mettre en place une politique climatique mondiale, il faut tenir compte du fait que les Etats susceptibles d'accepter un accord sont *souverains* (contrairement aux ménages à l'intérieur d'un pays) ; dès lors, une politique de transferts *ne doit pas être trop transparente* si l'on veut qu'elle soit acceptée par tous.

Finalement, dans bien des cas, il sera impossible de procéder à tous les transferts qui permettraient d'atteindre un optimum de premier rang. Du fait des contraintes qui s'imposent (information, souveraineté et transparence, etc.), seul un optimum de second rang pourra être atteint.

Le rapport comprend deux chapitres. Dans le chapitre 1, nous faisons une présentation générale des problèmes posés par les effets redistributifs des politiques énergétiques et environnementales. Dans le chapitre 2, nous présentons deux cas importants analysés dans la littérature : le cas de ménages à revenus différents, puis celui de la mise en place d'une politique climatique.

L'ARBITRAGE ENTRE EFFICACITE ECONOMIQUE ET REDISTRIBUTION SOULEVE PAR CES POLITIQUES ECONOMIQUES: QUESTIONS DE BASE

L'objectif de ce chapitre est de présenter, dans un contexte général, les principales questions qui se posent dans l'analyse économique des effets redistributifs des politiques économiques et environnementales. Ces questions sont au moins de deux types.

En premier lieu, nous nous attacherons à identifier les raisons pour lesquelles ces effets apparaissent, et les motifs qui font qu'ils intéressent tout particulièrement les économistes.

En second lieu, nous expliquerons comment ces effets sont pris en compte dans la théorie économique.

L'essentiel de la problématique présentée dans ce chapitre peut être résumé brièvement en quatre points.

1. Pourquoi les politiques énergétiques et environnementales ont-elles des effets redistributifs?

Réponse : parce que les agents économiques qu'elles affectent sont hétérogènes.

Exemples : ménages à bas revenu/haut revenu dans un pays ; habitants de pays à faible PIB par tête/pays à fort PIB/tête ; pays producteurs de ressources carbonées/pays utilisateurs de ces ressources.

2. Pourquoi pense-t-on que ces effets redistributifs soulèvent des problèmes spécifiques?

Réponse : les raisons sont multiples. D'abord, des raisons d'équité (pauvres/riches ; générations futures/présentes) ; mais aussi des raisons d'efficacité (par exemple, faire en sorte que tous les pays concernés adhèrent à un accord sur les politiques de lutte contre le changement climatique).

3. First Best Optimum

Si on pouvait utiliser des transferts forfaitaires (c'est à dire spécifiques à chaque ménage, chaque pays, etc...lump sum en anglais), les taxes environnementales seraient pigouviennes (taxe=coût marginal social des émissions) : donc, dans ce cas, la politique économique permettrait d'atteindre un optimum de premier rang (« first best »). Les impacts redistributifs non désirables pourraient être compensés par les transferts forfaitaires.

Ici, grâce à l'utilisation de deux outils, les autorités n'ont pas à arbitrer entre efficacité économique et redistribution : les deux objectifs peuvent être atteints indépendamment l'un de l'autre.

4. Second Best Optimum : Pourquoi ne peut-on pas utiliser des transferts forfaitaires ?

Réponse : fondamentalement, dans la littérature, pour des raisons d'information. En effet, les économistes pensent que les autorités ne peuvent pas observer certaines caractéristiques des agents (demandes individuelles, salaires, offres de travail, etc.) leur permettant d'effectuer ces transferts forfaitaires. Dès lors, soumis à ces

contraintes informationnelles, les autorités doivent arbitrer entre efficacité économique et redistribution. Donc, elles ne peuvent atteindre qu'un optimum de second rang (« second best »).

Remarque : il y a parfois d'autres raisons que les raisons d'information (par exemple, les coûts de transaction, les problèmes géopolitiques, etc.) pour expliquer l'impossibilité d'atteindre un optimum de premier rang.

On reprend ces quatre points plus en détails dans les quatre sections qui constituent ce chapitre.

I. HETEROGENEITE DES AGENTS ECONOMIQUES ET IMPACTS DES POLITIQUES ENERGETIQUES ET ENVIRONNEMENTALES

Si tous les agents concernés par telle ou telle politique économique étaient identiques (mêmes goûts, mêmes revenus, etc.), ces politiques n'auraient à l'évidence aucun effet redistributif, puisque ces différents agents seraient affectés de la même façon. **C'est donc parce que ces agents sont hétérogènes que des effets redistributifs apparaissent.** L'hétérogénéité peut concerner différentes caractéristiques des agents. Nous considérons ici quelques exemples importants, qui apparaissent dans la littérature.

A. Exemple 1 : le cas de ménages ayant des revenus différents

Considérons l'ensemble des ménages dans un pays donné. A l'évidence, ils ont des revenus différents. Les effets redistributifs, entre ces ménages, des politiques énergétiques et environnementales proviennent du fait élémentaire observable suivant : *plus le revenu du ménage est faible, plus la part de ses dépenses consacrées à l'énergie est élevée.* Dans la littérature, on trouve des ordres de grandeurs sur ce point : par exemple, Crémer-Gahvari-Ladoux (2003, 2010) indiquent que, grosso modo en France, les cadres supérieurs consacrent 5% de leurs dépenses aux achats d'énergie taxée alors que les travailleurs peu qualifiés consacrent 10% de leurs dépenses à ce type de consommation.

Dès lors si, par exemple, on taxe d'avantage l'énergie, *les ménages aux revenus les plus faibles sont relativement plus affectés par cette politique que les ménages aux revenus plus élevés.*

En conséquence, dans le cas où la taxe est utilisée à des fins d'efficacité économique (par exemple, pour limiter une pollution), les autorités font face à un *arbitrage* (« trade-off ») *entre efficacité économique et redistribution.* C'est l'existence de cet arbitrage qui est le point de départ d'une bonne partie de la littérature sur ce thème.

Remarque 1 :

Les travaux auxquels nous faisons référence ici ont une nature statique ; en d'autres termes, ils analysent les conséquences de court-moyen terme des politiques énergétiques et environnementales. Cependant, on peut penser (ce point sera développé plus loin) que les agents les plus pauvres sont aussi ceux qui vont souffrir le plus du changement climatique. Ce

sont donc aussi ceux qui bénéficieront le plus des politiques de lutte contre ce changement. Donc, dans une perspective dynamique, l'analyse est plus complexe.

En résumé, taxer le carbone (par exemple) augmente les inégalités à court terme (Crémer-Gahvari-Ladoux), mais les diminuent dans le long terme.

Remarque 2 :

Nous avons considéré le cas où l'hétérogénéité des ménages est relative à leurs revenus. D'autres cas d'hétérogénéité pourraient retenir notre attention. Par exemple, les ménages vivant « à la campagne » utilisent en général d'avantage les transports que ceux qui vivent « en ville ». Dès lors, une politique qui conduirait à une augmentation du coût de l'énergie pénaliserait les premiers d'avantage que les seconds. Il faut cependant nuancer cette affirmation, car on peut penser que le marché foncier et immobilier réagirait à la politique mise en place. En effet, si le prix de l'énergie utilisée dans les transports augmente, il est vraisemblable que les prix fonciers/immobiliers « en ville » augmenteront relativement aux prix « à la campagne », car il y aura une pression de la demande des ménages pour se rapprocher des villes (ou même des centres des villes). Ces changements de prix fonciers/immobiliers auront donc pour effet d'atténuer, voire de compenser, les effets redistributifs initiaux générés par la politique énergétique ou/et environnementale.

B. Exemple 2 : Générations présentes et générations futures

L'arbitrage entre générations présentes et générations futures est au cœur des questions relatives à l'effet de serre ; il est donc aussi au cœur des politiques climatiques dont l'objectif est d'éviter une hausse excessive des températures dans l'avenir.

Comme le réaffirment encore avec force C. Gollier et J. Tirole (2015), il faut accepter l'idée que *ces politiques sont coûteuses dans le court terme*, c'est à dire pour les premières générations. C'est ce qui apparaît dans les modèles théoriques qui sont développés dans ce domaine (cf. par exemple Grimaud-Rouge (2014)). C'est aussi ce que montrent les différentes simulations que l'on peut faire dans les modèles d'équilibre général dynamiques (cf. par exemple sur ce point Grimaud-Magné-Lafforgue (2011), où on évalue notamment les coûts et avantages, pour les différentes générations, des politiques mises en œuvre). En effet, ces politiques ont en premier lieu pour objectif d'extraire moins de ressources carbonées dans le court-moyen terme. Par ailleurs, les politiques de « mitigation » (atténuation, en français), notamment la séquestration du carbone, sont coûteuses. De plus, même si on substitue aux ressources carbonées des énergies renouvelables, cela se fera à un coût tel que le bien-être des premières générations en sera affecté. Enfin, stimuler la recherche « verte » est certainement une bonne chose du point de vue du bien-être social, mais cela aussi est coûteux à court terme. En résumé, toutes choses égales par ailleurs, toutes ces politiques ont pour conséquence de diminuer le bien-être des générations présentes.

Dès lors, comme le remarque Roger Guesnerie (2012), « pourquoi nous sacrifier pour nos petits-enfants qui seront beaucoup plus riches que nous ? ». Selon lui, « la conjonction de la dimension éthique et de la logique de l'évolution des prix relatifs constitue une justification économique centrale d'une politique climatique rapide et massive ».

La *dimension éthique* est évidemment essentielle si l'on veut comprendre pourquoi nous nous intéressons au bien-être des générations futures. Comme le dit R. Guesnerie, « si vous êtes indifférent à ce qui va se passer sur cette planète dans un siècle, on ne pourra guère vous convaincre de la laisser en bon état pour des descendants dont vous ne vous souciez pas ».

La *question des prix relatifs* mérite quelques remarques. Ici aussi, nous pouvons citer R. Guesnerie : « le prix (ou la valeur sociale) du bien « environnement » dont la quantité reste plus ou moins fixe, s'accroît relativement à celui du bien standard, dont la disponibilité augmente au cours du temps ». En fait, cette phrase, qui fait référence au prix/valeur de l'environnement, fait en même temps référence implicitement au prix (c'est à dire au coût social) du bien économique qui conduit à la baisse de qualité de l'environnement, c'est à dire le carbone. A mesure que le temps passe, la quantité de biens (le PIB de la comptabilité nationale) augmente : c'est le résultat de la croissance économique. Dès lors, la valeur relative (c'est à dire par rapport aux autres biens) de l'environnement augmente progressivement à mesure que les générations se succèdent. De façon équivalente, le coût social d'une unité de carbone (ici aussi, relativement aux autres biens) augmente progressivement. On a ici le mécanisme fondamental qui explique pourquoi, dans les études économiques théoriques et empiriques, le prix optimal du carbone (taxe unitaire ou prix de permis échangeables) est en général croissant au cours du temps.

En définitive, du point de vue de la redistribution, *ces politiques ont donc pour effet de redistribuer de la production (c'est à dire du revenu) du présent vers l'avenir, c'est à dire des générations présentes vers les générations futures.*

C. Exemple 3 : le cas de pays (ou régions) ayant des PIB/tête différents

Cet exemple est proche de l'exemple 1. En effet, au niveau mondial, les ménages ont *en moyenne* des revenus d'autant plus faibles qu'ils vivent dans des pays à PIB par tête faible. Dès lors, comme on l'a observé ci-dessus, on peut penser qu'ils consacrent (en moyenne, aussi) une part plus importante de leur revenu aux dépenses relatives à l'énergie que les ménages de pays riches (naturellement, puisqu'on se place maintenant au niveau mondial, ce type de corrélation peut être plus ou moins fortement altérée par les différences de climat).

De façon schématique, on a donc au niveau international le même type de résultat que dans le cas national : les politiques énergétiques et/ou environnementales auront des effets relativement plus sensibles sur les ménages des pays à PIB par tête faible. Ces politiques ont donc, ici aussi, des effets redistributifs « dans le mauvais sens » (c'est à dire, redistribution des pauvres vers les riches).

Remarque : il faut rester prudent quand on s'intéresse aux ménages de pays à PIB par tête faible. Par exemple, N. Stern (2012) affirme : « Dans les pays en développement, les questions de distribution des revenus sont différentes. Une taxe sur le charbon ou le pétrole n'a que peu d'effets sur les plus pauvres, qui utilisent du bois, ou de la bouse de vache, et peu ou pas de pétrole. Le problème de la régressivité de la taxe carbone ne se pose que dans les pays développés ».

D. Exemple 4 : pays (ou régions) hétérogènes du fait de leurs localisations géographiques

On pense ici en particulier aux conséquences, très différentes selon les régions du monde concernées, du changement climatique et donc de toutes les politiques qui pourraient être mises en œuvre pour en limiter les effets.

Par exemple, R. Guesnerie et N. Stern affirment que « Les pays en développement seront touchés en premier et le plus fortement ». Cela tient, selon eux, à plusieurs raisons.

D'une part, la *géographie* : "Gérer des changements de températures est plus difficile dans des pays déjà chaud" ; par exemple, « des pays qui dépendent des eaux himalayennes sont plus vulnérables que la France et le Royaume-Uni ». D'autre part, le fait que " le changement climatique est fondamentalement une *perturbation des éléments aquatiques* : tempêtes, inondations, sécheresses, augmentation du niveau des mers,...Or, dans les pays en développement, de nombreuses activités sont intimement liées à l'eau - les activités agricoles, bien sûr, mais aussi les activités urbaines...."

Enfin, les *niveaux de revenus et d'éducation* : « on résiste en général d'autant mieux aux changements qu'on est riche et qu'on a un niveau d'éducation élevé ».

Finalement, ces auteurs affirment aussi que « Les populations les plus pauvres des pays riches risquent d'être durement touchées ». A cet égard, ils citent par exemple le cas des quartiers les plus vulnérables de la Nouvelle-Orléans touchés par l'ouragan Katrina.

E. Exemple 5 : pays hétérogènes du fait de leurs avoirs différents en ressources fossiles (pays producteurs/pays utilisateurs) ; les transferts de rentes induits par les politiques énergétiques et environnementales

Il s'agit ici d'une question un peu plus complexe. Elle demande donc à être développée plus longuement.

a) Le problème

L'idée de base analysée dans ce paragraphe est la suivante. Une taxe carbone fait monter (au moins sur le court-moyen terme) le « prix-consommateur » des utilisateurs de ressources fossiles carbonées (pétrole, gaz, charbon) afin de réduire la consommation de ces ressources: cette hausse du prix-consommateur est le canal de transmission essentiel à travers lequel les autorités veulent réguler les externalités environnementales. Mais, simultanément, la taxe fait baisser le prix-producteur de ces ressources : elle conduit donc à un *transfert de rente des pays producteurs vers les pays utilisateurs*.

L'hétérogénéité concerne ici les dotations initiales des différents pays en ressources fossiles.

Le mécanisme que nous analysons (ici, en dynamique) est proche de celui que l'on a (en statique) si on taxe une parcelle de sol. Dans ce dernier cas, en effet, puisque l'offre est exogène (c'est à dire, ici, indépendante du prix), l'augmentation de la taxe n'a pour effet que

de diminuer la « rente » (c'est à dire le revenu) du propriétaire de la parcelle, et de transférer cette baisse aux autorités qui prélèvent la taxe.

Afin d'illustrer ce résultat, considérons, d'abord, dans un cadre purement statique, la modélisation élémentaire suivante. Supposons que la demande de sol est une fonction décroissante, $D(pt)$, où p est le prix unitaire hors taxe (prix-producteur), avec $t = 1 + e$, e étant la taxe unitaire prélevée par les autorités. Appelons S l'offre de sol (supposée fixe). Le marché est en équilibre si l'offre est égale à la demande, c'est-à-dire si $D(pt) = S$. Le prix (taxe comprise) d'équilibre est donc $pt = D^{-1}(S)$, où $D^{-1}(S)$ est une constante. Donc, si la taxe e augmente (c'est à dire si $t = 1 + e$ augmente), le prix-producteur p (c'est à dire le prix hors taxe) diminue : l'augmentation de la taxe n'a pour effet que de transférer aux autorités une partie de la rente foncière du propriétaire du sol.

b) Le cas des ressources non renouvelables

- Comment se généralise cet exemple au cas de ressources non-renouvelables ?

Le point commun entre une surface de sol et le stock d'une ressource non renouvelable est que, dans les deux cas, la *quantité disponible de ces biens est finie*. La différence fondamentale est que la même surface de sol peut être utilisée indéfiniment, alors que chaque unité d'une ressource non-renouvelable ne peut être utilisée qu'une fois. La question de l'utilisation des ressources non-renouvelables introduit donc dans l'analyse un *élément dynamique* essentiel, qui est caractéristique de ce type d'étude : à quel rythme extraire, et donc utiliser, ce type de ressource?

Dans ce cadre dynamique, on peut dire schématiquement qu'une taxe carbone aura *deux types d'effets* :

- d'une part, elle va inciter les différents agents économiques (entreprises, ménages) à retarder ou à accélérer le rythme d'extraction, et donc le rythme d'utilisation, de la ressource non-renouvelable.
- d'autre part, au-delà du rythme d'extraction, elle va inciter les différents agents économiques (entreprises, ménages) à prendre certaines décisions-clé qui vont modifier les conditions relatives à l'utilisation de la ressource.

Ces décisions concernent d'abord tous les moyens qui peuvent permettre de limiter les émissions de carbone, à utilisation donnée des ressources carbonées : on pense ici essentiellement aux techniques de *séquestration du carbone*.

Ces décisions concernent aussi la *substitution progressive des énergies renouvelables aux énergies fossiles*.

Enfin, ces décisions concernent les *politiques de R&D* qui peuvent permettre d'améliorer l'efficacité économique de toutes les ressources, carbonées ou non (cf. sur ce point tous les modèles avec progrès technique dédié qui se sont notamment développés à partir des travaux d'Acemoglu).

- Comment la taxe carbone peut-elle remplir ce double objectif ?

Dans le cas statique du marché de la parcelle de sol étudié ci-dessus, le prix est un nombre. Par contre, dans le cas dynamique de la ressource, la taxe carbone est une fonction du temps : pour simplifier, on peut considérer qu'elle est caractérisée par un certain *niveau*, et par un *profil temporel* (par exemple, on connaît la dérivée de cette fonction par rapport au temps, en tout point du temps). Schématiquement, ces deux caractéristiques vont donner des incitations différentes pour les deux types de comportements mentionnés ci-dessus.

- l'effet profil temporel

Dans une perspective dynamique, la question est de savoir si la taxe augmente plus vite, moins vite, ou au même rythme que le prix de la ressource en situation de laisser faire, c'est à dire avant que la taxe ne soit imposée.

Si la taxe augmente plus vite que le prix de la ressource avant taxe, le prix-consommateur de la ressource avec taxe augmentera plus vite que le prix de la ressource avant taxe (en effet, en l'absence de taxe, le prix-producteur est égal au prix-consommateur ; par ailleurs, on suppose ici que le profil temporel du prix-producteur est indépendant de la taxe : par exemple, dans un modèle à la Hotelling - à coût d'extraction unitaire constant - le taux de croissance du prix-producteur est donné par le taux d'intérêt) ; en d'autres termes, la taxe a pour effet d'accélérer la croissance du prix-consommateur de la ressource. En supposant que les agents économiques sont capables d'anticiper ce mécanisme, il est clair que l'extraction de la ressource va être accélérée. En effet, anticipant un prix d'achat plus élevé dans l'avenir, les utilisateurs de la ressource préféreront en acheter de plus grandes quantités sur les premières périodes (c'est ce que l'on appelle dans la littérature un effet de « Green Paradox » : la politique économique mise en œuvre génère à court terme une augmentation du flux d'extraction des ressources, et donc une augmentation des émissions de carbone).

Inversement, si la taxe carbone augmente moins vite que le prix de la ressource avant taxe, l'extraction de la ressource va être freinée (c'est, comme nous le verrons plus loin, ce qui est socialement optimal). Dans ce cas en effet, le prix-consommateur de la ressource avec taxe augmentera moins vite qu'il n'augmentait avant l'existence de la taxe. C'est cela qui va inciter les agents économiques à retarder l'utilisation de la ressource.

Enfin, si la taxe carbone augmente au même rythme que le prix de la ressource avant taxe, cette taxe carbone n'a pas d'effet sur le rythme d'extraction de la ressource. De ce point de vue, elle est neutre.

Remarque : dans une analyse « à la Hotelling », le fait que les coûts d'extraction soient croissants (parce qu'on va extraire les ressources fossiles de plus en plus profondément dans le sol) fait que le prix de ces ressources augmente à un taux de croissance plus élevé que le taux d'intérêt. A l'opposé, le progrès technique dans les coûts d'extraction conduit à une croissance plus faible du prix des ressources.

Sur le long terme, on observe que le prix des ressources naturelles a augmenté à un taux de croissance plutôt inférieur au taux d'intérêt : cf. par exemple Gaudet (2007) sur ce point. Si on interprète cette observation à la lumière d'une analyse « à la Hotelling », cela signifie que « l'effet progrès technique » a été jusqu'ici plus fort que « l'effet profondeur de l'extraction » dans l'évolution des coûts d'extraction.

- l'effet niveau

Comme on la suggéré ci-dessus, pour un rythme d'extraction donné, le niveau de la taxe va inciter les agents économiques à prendre des décisions-clé concernant la ressource. Par exemple, un niveau suffisamment élevé conduira à séquestrer une partie du carbone émis lors de l'utilisation de la ressource. Plus le niveau de la taxe sera élevé, plus il sera rentable de séquestrer, c'est à dire plus la proportion de carbone séquestré sera forte. De la même façon, le niveau de la taxe aura des effets décisifs sur la production (ou non) d'énergie à partir de ressources renouvelables ; ici aussi, plus le niveau de la taxe sera élevé, plus la part du renouvelable dans le mix énergétique sera élevée. Enfin, même si ces questions restent encore largement ouvertes, on peut raisonnablement penser que le niveau de la taxe carbone aura des effets non négligeables sur les activités de R&D dans les différents secteurs de l'énergie.

Ces quelques remarques sur les effets d'une taxe carbone permettent de comprendre comment elle a des effets redistributifs des pays producteurs de ressources vers les pays consommateurs, c'est à dire comment se généralise en dynamique l'exemple statique de la taxation d'une parcelle de sol. En fait, nous pouvons exhiber le cas de « pur effet transfert de rente » de la façon suivante. Supposons que la taxe augmente au même rythme que le prix de la ressource avant taxe : nous savons que, dans ce cas, le rythme d'extraction de la ressource est inchangé par rapport à la situation de laisser-faire. Supposons alors que le niveau de la taxe augmente, « à profil temporel inchangé ». Le point essentiel ici est que, alors que le rythme d'extraction est inchangé, le prix-producteur de la ressource baisse ; *cette augmentation du niveau de la taxe va générer un transfert de rente des pays producteurs vers les pays consommateurs : c'est le point-clé.*

II. PROBLEMES SOULEVES PAR L'HETEROGENEITE DES AGENTS ECONOMIQUES

Dans de nombreux cas, notamment ceux de ménages à revenus différents, ceux de pays à PIB par tête différents, ou ceux de générations différentes, le principal problème soulevé par les effets redistributifs des politiques énergétiques et environnementales est un problème d'éthique. Cela est d'autant plus vrai que, comme on l'a vu plus haut, bien souvent cette redistribution « va dans le mauvais sens » (des ménages pauvres vers les ménages plus riches, des pays à faible PIB par tête vers ceux qui ont un PIB par tête plus élevé). Il revient donc aux différentes autorités (nationales ou/et internationales) de mettre en place les mesures qui permettent de respecter au mieux les critères éthiques de la société (pays, communauté internationale) qu'elles représentent, et au nom de laquelle elles prennent ces décisions (nous verrons plus loin comment la théorie économique prend en compte et modélise ces questions).

Les considérations éthiques sont les mêmes lorsqu'on s'intéresse aux politiques climatiques, et à leur impact sur les générations futures. On peut ici reprendre la phrase (déjà citée ci-dessus) empruntée à N. Stern et R. Guesnerie (2012, page 34), " Si vous êtes indifférent à ce qui va se passer sur cette planète dans un siècle, on ne pourra guère vous convaincre de la laisser en bon état pour des descendants dont vous ne vous souciez pas".

Cependant, au-delà des questions d'équité, les effets redistributifs des politiques énergétiques et environnementales font surgir d'autres problèmes. Prenons à nouveau *l'exemple d'une politique climatique* (taxe carbone ou permis négociables). Comme on l'a vu, puisqu'une telle politique provoque une augmentation du prix-consommateur de l'énergie carbonée (c'est

naturellement son objectif premier), elle soulève les problèmes d'éthique que nous venons d'évoquer. Mais, simultanément, cette politique soulève des problèmes d'efficacité dans la coordination des différents agents économiques. Par exemple, les pays producteurs de ressources naturelles carbonées dont la rente est partiellement transférée vers les pays utilisateurs (le prix-producteur baisse) seront très réticents à signer des accords internationaux dont l'objectif est de mettre en place une telle politique. Les autorités sont alors face à un problème d'incitation : elles doivent proposer des mécanismes assurant que tout le monde se mettra autour d'une table de négociation et que finalement les accords seront signés par tous les pays concernés.

III. « FIRST BEST »- CAS OU IL N'Y A PAS DE CONFLIT ENTRE EFFICACITE ECONOMIQUE ET REDISTRIBUTION : LES POLITIQUES DE PREMIER RANG PEUVENT ÊTRE MISES EN OEUVRE

A. Le principe

Supposons que les autorités puissent mettre en œuvre simultanément *deux types de politiques économiques* :

- d'une part, une *politique énergétique ou/et environnementale* dont les objectifs sont en général relatifs à l'efficacité du fonctionnement de l'économie : donner un prix au carbone, subventionner tel ou tel type de R&D dans le domaine de l'énergie, subventionner la R&D dans la séquestration du carbone, etc.
- d'autre part, une *politique de transferts* permettant de neutraliser les effets redistributifs de la politique énergétique ou/et environnementale choisie.

Alors, *les autorités n'ont aucun arbitrage particulier à faire entre efficacité et redistribution* : il n'y a pas de conflit entre les deux objectifs. La politique énergétique ou/et environnementale permet d'atteindre les objectifs d'efficacité économique ; pour cela, il suffit de la fixer à son *niveau de premier rang* (on la qualifie de *taxe de « first best »*, ou encore de *taxe pigouvienne*). Par ailleurs, la politique de transferts permet d'assurer la redistribution souhaitée par les autorités.

A titre d'illustration, on considère l'exemple très schématique suivant.

L'économie comprend deux types de consommateurs : les « riches », dont la fonction d'utilité est U^1 , et les « pauvres » dont la fonction d'utilité est U^2 . Les autorités ont un souci d'équité qui est formalisé, ici aussi de façon très schématique, par la volonté que l'utilité U^2 ne soit pas inférieure à une fonction linéaire de U^1 : formellement, elles souhaitent que U^2 ne soit pas inférieure à kU^1 , avec $k < 1$.

Dans la *Figure 1*, la courbe PP' représente l'ensemble des optima de Pareto, c'est-à-dire les couples (U^2, U^1) tels qu'il n'est pas possible d'augmenter l'utilité d'un type d'agent sans diminuer celle de l'autre. Ce sont les points pour lesquels l'économie fonctionne de façon « efficace ».

Le point LF (« laisser-faire ») représente l'équilibre de l'économie lorsqu'il n'y a pas d'intervention publique. Ce point a deux caractéristiques. D'une part, il correspond à un *fonctionnement inefficace de l'économie*, puisqu'il n'est pas sur la frontière de Pareto : avec une politique économique appropriée, les autorités pourraient faire en sorte que les utilités des deux agents augmentent simultanément. D'autre part, au regard du critère éthique des autorités, il est *trop inégalitaire* puisqu'il se trouve au-dessus de la droite $U^2 = kU^1$.

Supposons que les autorités interviennent, par exemple en imposant une taxe pigouvienne pour lutter contre l'externalité qui empêche l'économie de fonctionner de façon efficace. Supposons aussi pour le moment qu'elles n'interviennent pas au niveau de la redistribution. Alors, l'économie atteint le point de first best FB_1 : c'est un point appartenant à la frontière de Pareto (il est efficace), mais il reste trop inégalitaire pour les autorités puisqu'il est au-dessus de la droite $U^2 = kU^1$.

Supposons maintenant que, en plus de la taxe pigouvienne, les autorités utilisent des transferts forfaitaires des « riches » vers les « pauvres ». Alors, l'économie atteint le point de first best FB_2 : il est à la fois efficace (il est sur la frontière de Pareto) et acceptable sur le plan éthique, puisqu'il est sur la droite $U^2 = kU^1$.

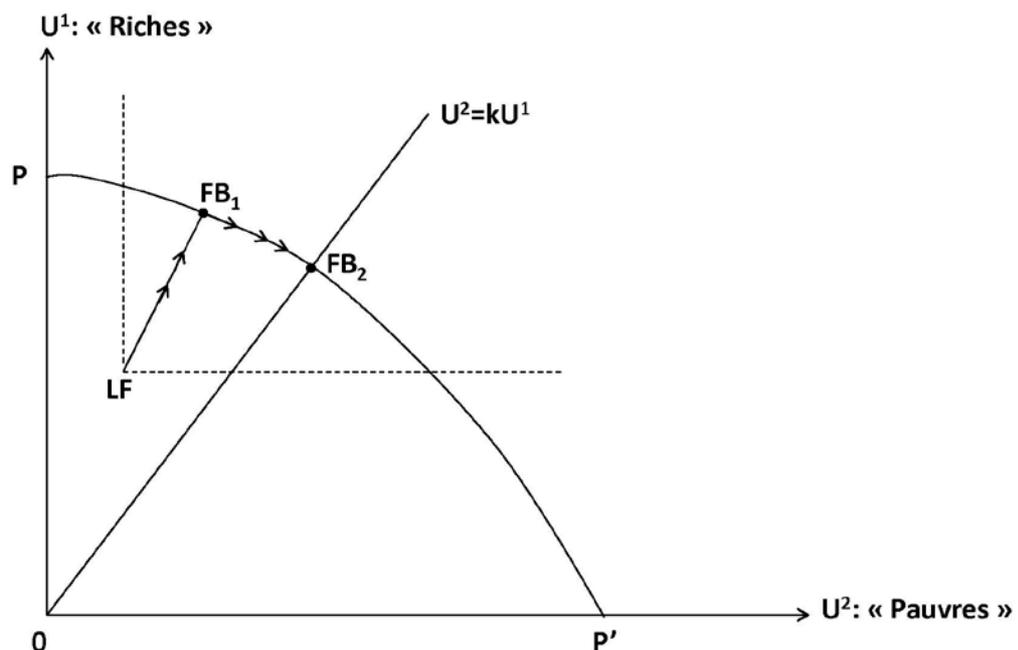


Figure 1 - Cas où les autorités peuvent atteindre le First Best

La Figure 1 conduit aux remarques simples suivantes :

D'une part, la taxe pigouvienne permet d'augmenter *simultanément* les utilités des deux types de consommateurs. On a en effet $U^1(FB_1) > U^1(LF)$ et $U^2(FB_1) > U^2(LF)$. C'est en cela qu'elle est efficace.

D'autre part, les transferts forfaitaires conduisent (sur la frontière de Pareto) à une augmentation de l'utilité des « pauvres » au détriment de l'utilité des « riches ». Formellement, on a en effet $U^1(FB_2) < U^1(FB_1)$ et $U^2(FB_2) > U^2(FB_1)$.

B. L'exemple d'un prix du carbone (taxe ou permis négociables)

Considérons le cas d'une taxe (ou de permis négociables) sur les énergies carbonées pour illustrer le principe général énoncé ci-dessus. Puisque cette taxe est destinée à lutter contre une externalité, elle a d'abord des effets relatifs à l'efficacité de fonctionnement de l'économie. Mais elle a aussi des effets redistributifs.

a) Les effets d'efficacité économique de la taxe pigouvienne

Supposons que les autorités soient capables de faire accepter à l'ensemble des parties concernées la taxe carbone pigouvienne, c'est à dire celle qui implémente l'optimum de premier rang. Rappelons d'abord qu'une telle taxe est une certaine fonction du temps (et non un nombre, comme on le pense parfois). Notons aussi que l'on considère pour le moment comme équivalents une taxe carbone et un système de permis négociables. Dans le cas d'une taxe, les autorités annoncent publiquement ce que sera le prix du carbone pour toutes les périodes futures, et les mécanismes du marché déterminent les émissions de carbone qui en résultent. Dans les cas de permis échangeables (ou « négociables ») les autorités annoncent quelle sera la quantité totale de permis disponibles pour toutes les périodes futures (c'est à dire qu'elles fixent les émissions totales de carbone pour ces périodes, ces permis pouvant être mis aux enchères ou-bien distribués aux différents pays ou régions), et les mécanismes du marché déterminent le prix du carbone qui en résulte. Dans ce qui suit, nous parlerons de taxe carbone mais il peut s'agir, de façon équivalente, de prix du carbone résultant d'un système de permis échangeables.

Comme on l'a vu ci-dessus, cette taxe aura essentiellement deux types d'effets : un effet niveau et un effet profil temporel.

a) Effet niveau

Formellement, à chaque date, le niveau de cette taxe doit être égal *au coût marginal social provoqué par l'émission dans l'atmosphère d'une unité de carbone* (c'est bien une taxe de first best, ou encore pigouvienne). Rappelons ici que ce coût est assez complexe à déterminer ; en effet, chaque unité de carbone émise dans l'atmosphère à une date quelconque t va contribuer à la hausse des températures entre la date t et l'infini. Donc, elle concerne toutes les générations qui vont se succéder sur cette période. C'est pourquoi le niveau de cette taxe pigouvienne est égal à la somme, actualisée à la date t , des coûts marginaux relatifs à toutes les générations concernées. Ces coûts sont assez difficiles à calculer, notamment parce qu'ils concernent à la fois les entreprises (baisse des rendements agricoles, etc.) et les consommateurs (maladies, déplacements de populations, etc.).

Dès lors, le niveau optimal de la taxe incitera les agents économiques à prendre toutes les décisions qui conduisent à la situation optimale de premier rang.

D'abord, comme on l'a vu, ces décisions concernent la *substitution progressive des énergies renouvelables aux énergies fossiles* : dans l'idéal, une taxe carbone pigouvienne permet d'assurer que cette substitution se fera au rythme socialement optimal. Elles concernent aussi tous les moyens qui peuvent permettre de limiter les émissions de carbone, à utilisation donnée des ressources carbonées : on pense ici essentiellement aux techniques de *séquestration du carbone*.

Enfin, elles concernent les *politiques de R&D* qui peuvent permettre d'améliorer l'efficacité économique de toutes les ressources, carbonées ou non.

b) Effet profil temporel

Simultanément, la taxe pigouvienne incitera l'ensemble des acteurs à retarder dans le temps l'extraction des ressources fossiles carbonées. Sur ce point, les modèles économiques, théoriques et empiriques, montrent que la taxe carbone optimale ne doit pas croître trop vite dans le temps (grosso modo, comme on l'a vu ci-dessus, elle doit croître moins vite que le taux d'intérêt réel des actifs sans risque).

En résumé, pour inciter les agents à retarder l'extraction des ressources fossiles carbonées, il faut donc que la taxe carbone optimale n'augmente pas trop vite.

Remarques : nous avons expliqué plus haut (cf. 1.2. Exemple 2) pourquoi la taxe carbone pigouvienne est en général une fonction croissante au cours du temps. En effet, la taxe carbone n'est rien d'autre que le prix unitaire relatif du carbone par rapports aux biens marchands (c'est à dire, pour simplifier, par rapport au PIB). A mesure que le temps passe, le PIB par tête augmente (c'est la croissance économique) ce qui conduit le prix du carbone (exprimé en terme de PIB) à augmenter car, pour les générations futures, l'environnement va devenir un bien de plus en plus « rare » relativement aux biens marchands.

Sous certaines hypothèses, on peut montrer que la taxe carbone optimale est proportionnelle à l'output : cf. par exemple Golosov et alii (2014), Gerlagh et Liski (2012), ou Grimaud et Rouge (2014). Pour l'essentiel, ces hypothèses sont les suivantes : l'utilité du consommateur représentatif est séparable dans le bien (supposé homogène) de consommation et le stock de carbone accumulé dans l'atmosphère ; elle est logarithmique dans le bien de consommation et linéaire dans le stock de carbone ; la fonction de production de bien final est affectée de façon multiplicative par un dommage qui est une fonction exponentielle du stock de carbone.

Dans ce cas, le taux de croissance de la taxe est donc le même que celui du bien final ; puisque ce taux décroissance est (en général) inférieur au taux d'intérêt, on retrouve bien le cas (déjà analysé plus haut) où la taxe optimale conduit à retarder l'extraction de la ressource naturelle.

b) Les effets redistributifs de la taxe carbone

Comme on l'a vu plus précédemment, au-delà des effets relatifs à l'efficacité de l'économie, **la taxe carbone a des effets redistributifs puissants.**

D'une part, elle provoque une *redistribution des revenus des ménages à bas revenus vers les ménages à revenus plus élevés*. Pour satisfaire aux exigences éthiques de la société tout en restant à un niveau d'optimum de premier rang, nous supposons donc ici que les autorités

peuvent simultanément transférer, des ménages à hauts revenus vers ceux dont les revenus sont plus faibles, les sommes qui permettent de compenser les effets redistributifs initiaux. Si de tels transferts forfaitaires (lump sum) peuvent être mis en œuvre, les autorités auront donc réussi à atteindre simultanément les deux objectifs-clé de leur politique : efficacité économique (par la lutte contre les externalités environnementales), et redistribution. En d'autres termes, la possibilité d'utiliser simultanément deux outils de politique économique évite aux autorités d'arbitrer entre deux objectifs, efficacité et redistribution, qui pourraient apparaître comme contradictoires.

D'autre part, nous savons aussi que cette taxe carbone ne peut atteindre ses objectifs *qu'en pénalisant les premières générations*. Ici, il est impossible pour les autorités de procéder à des transferts forfaitaires entre générations, pour la raison évidente que ces générations ne vivent pas simultanément.

Enfin, nous avons vu ci-dessus qu'une telle taxe a d'autres effets redistributifs. Par exemple, *elle affecte d'avantage les pays à faible PIB par tête que les pays plus riches*. De même, nous savons qu'elle provoque un *transfert de rente* (c'est à dire de revenu) des pays producteurs d'énergies fossiles vers les pays utilisateurs. Dès lors, les choses sont peut-être encore plus complexes pour les autorités (qui sont maintenant internationales) : elles ne pourront utiliser la taxe pigouvienne que si l'ensemble de la communauté internationale est disposée à accepter une telle politique. Les autorités ont-elles à leur disposition tous les outils nécessaires? Par exemple, peuvent-elles réaliser les transferts entre pays qui leur permettraient de convaincre le monde entier d'accepter une taxe de premier rang? On mesure bien sûr ici à quel point les objectifs d'efficacité économique et de redistribution peuvent devenir très conflictuels. Cette question sera reprise plus en détail dans le chapitre 2 (cf. la section 2) ci-dessous.

IV. « SECOND BEST » - L'ARBITRAGE ENTRE EFFICACITE ECONOMIQUE ET REDISTRIBUTION : LES POLITIQUES OPTIMALES DE SECOND RANG

Nous supposons maintenant que, pour telle ou telle raison (problème informationnel, problème géopolitique,.....), il n'est pas possible d'effectuer les transferts forfaitaires permettant d'obtenir simultanément :

1. Un optimum de premier rang (« first best »)
2. La redistribution nécessaire permettant d'atteindre l'objectif souhaitée : équité, participation à un accord international, etc.

En d'autres termes, les autorités font face à un arbitrage entre efficacité économique (par exemple, la lutte contre une externalité) et redistribution.

La solution retenue sera la meilleure possible contre tenue de l'impossibilité d'utiliser des transferts forfaitaires. Une telle solution est qualifiée de « second best » (« second rang »)

Revenons à l'illustration présentée en A ci-dessus.

Rappelons que l'économie comprend deux types d'agents, les « pauvres » (d'utilité U^2) et les « riches » (d'utilité U^1). Les autorités souhaitent que l'utilité des pauvres, U^2 , ne soit pas inférieure à kU^1 , $k < 1$.

En situation de « laisser-faire », l'économie est au point LF qui est à la fois inefficace et trop inégalitaire pour les autorités. Si les autorités pouvaient utiliser simultanément une taxe pigouvienne et des transferts forfaitaires, l'économie atteindrait le point de « first best » FB_2 qui est à la fois efficace et acceptable sur le plan éthique (cf. 3.1 ci-dessus). Cependant, nous supposons maintenant que les autorités ne peuvent pas utiliser de transferts forfaitaires. Dès lors, elles font face à un arbitrage entre efficacité économique et redistribution. Dans notre illustration, la politique de taxation (qui n'est plus pigouvienne) ne permet que d'atteindre le « second best » SB.

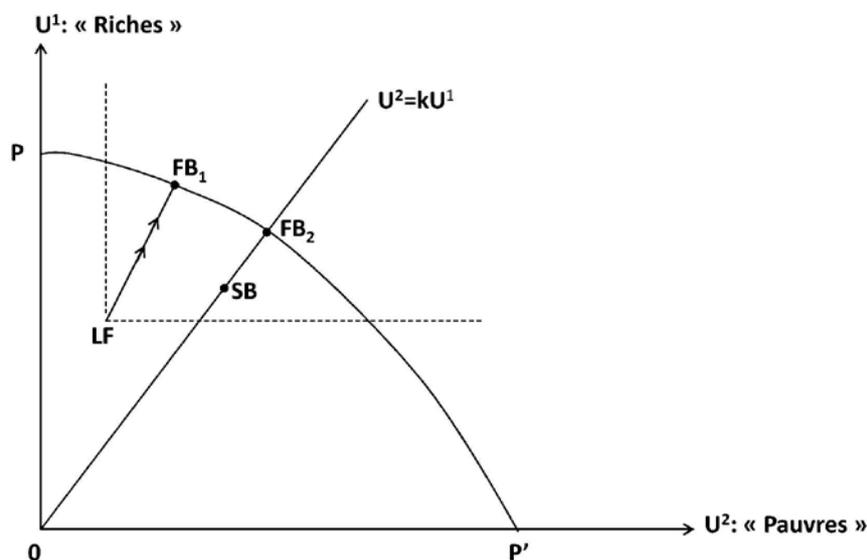


Figure 2 - Cas où les autorités ne peuvent atteindre qu'un Second Best

Comme nous l'avons fait pour la Figure 1 ci-dessus, nous pouvons faire quelques commentaires sur la Figure 2.

Dans la configuration présentée ici, la situation de « second best » (SB) est préférable à la situation initiale de laisser-faire (LF) à la fois pour les ménages « pauvres » et pour les ménages « riches ». En effet, on a simultanément $U^2(SB) > U^2(LF)$ et $U^1(SB) > U^1(LF)$.

Cependant, on peut très bien imaginer une solution de second rang où l'utilité des « pauvres » augmenterait, celles des « riches » diminuant, c'est-à-dire

$$U^2(SB) > U^2(LF) \text{ et } U^1(SB) < U^1(LF).$$

Ici, on serait dans un cas où le souhait de redistribution des autorités serait tel qu'elles n'hésiteraient pas provoquer une baisse de l'utilité des « riches » pour assurer cette redistribution.

Remarque : on s'intéresse ici à des optima de second rang bien particuliers, ceux qui proviennent de problèmes informationnels. Naturellement, le concept est beaucoup plus général. Par exemple on peut analyser le cas où, pour des raisons d'acceptabilité sociale, il n'est pas possible de mettre en place la taxe carbone pigouvienne. On peut alors chercher les outils (par exemple, des subventions à la R&D, à la CCS, etc.) qui permettent de maximiser le bien-être dans une optique de second rang : cf. par exemple Grimaud-Lafforgue (2008) pour ce type d'analyse dans un modèle empirique, ou encore Grimaud-Rouge (2014) dans le cadre d'un modèle théorique.

CHAPITRE 2

EXEMPLES ISSUS DE LA LITTÉRATURE

Dans le chapitre 1, nous avons insisté sur le fait que les effets redistributifs des politiques énergétiques et environnementales sont directement liés à *l'hétérogénéité* des agents économiques concernés par ces politiques.

Puis, nous avons mis l'accent sur les difficultés que rencontrent les différentes autorités pour mettre en place ces différentes politiques, en particulier pour utiliser les politiques de premier rang lorsqu'il s'agit de corriger une/des externalité(s). Ces difficultés sont bien souvent liées aux *problèmes que rencontrent ces autorités pour effectuer des transferts entre les agents*.

Dans le chapitre 2 qui suit, nous allons présenter deux exemples qui permettent d'illustrer ces différents points.

Le premier exemple (cf. la section 1) est celui où la politique énergétique/environnementale affecte des ménages à revenus différents.

Le deuxième (cf. la section 2) concerne plus généralement la mise en place d'une politique climatique de lutte contre l'effet de serre.

La différence fondamentale entre les deux cas est relative au *niveau géographique* de l'analyse. Dans la section 1, l'analyse est conduite au niveau d'un Etat-Nation ; donc, on suppose qu'il existe un gouvernement qui peut imposer à l'ensemble des agents économiques, entreprises et ménages, la politique économique qu'il juge souhaitable. Dans la section 2, l'analyse est conduite au niveau mondial : il n'y a donc aucune autorité capable d'imposer une politique économique ; par rapport au cas de la section 1, l'hypothèse fondamentale nouvelle est celle de la *souveraineté des Etats*. En conséquence, la mise en place d'une taxe carbone (ou d'un système de permis échangeables) se heurte à un problème majeur d'économie politique : comment faire en sorte que tous les pays jouent le jeu » ?

I. POLITIQUES ÉNERGETIQUES ET ENVIRONNEMENTALES AFFECTANT DES MÉNAGES À REVENUS DIFFÉRENTS : LES EFFETS RÉGRESSIFS DE LA FISCALITÉ CARBONE

On considère ici le cas, développé dans la littérature, où l'hétérogénéité à l'origine des effets redistributifs des politiques environnementales concerne les ménages. En effet, comme dans l'exemple 1 ci-dessus (cf. la section 1.1), ils ont des revenus différents et ils consacrent à l'énergie une part d'autant plus forte de leurs dépenses que leur revenu est faible.

Formellement, les principales caractéristiques du modèle sont les suivantes (cf. Crémer-Gahvari- Ladoux (2003, 2010), où les calibrations sont faites sur l'économie française).

A. Agents économiques et biens

L'économie comprend 3 types d'agents : des entreprises, des ménages, et le gouvernement (on l'appellera aussi Etat ou régulateur).

- Les *entreprises* utilisent trois facteurs de production : du travail (fourni par les ménages), du capital, et de l'énergie D (ces deux derniers biens sont importés). Ces trois inputs permettent de produire deux biens de consommation : le premier (noté x) n'est pas polluant ; le second (noté y) est polluant.
- Les *ménages* sont répartis en quatre catégories : le groupe « Managerial staff » (cadres supérieurs) représente 15,41% de la population ; le groupe « Intermediary level » (cadres moyens) représente 24,77% ; le groupe « White collars » (travailleurs qualifiés) représente 20% ; enfin, le groupe « Blue collars » (travailleurs peu qualifiés) représente 39,82%.

Quel que soit le groupe auquel il appartient, chaque ménage consomme du bien non polluant x et du bien polluant y . Comme on l'a dit plus haut, **le point-clé est que la part des dépenses en bien y est d'autant plus forte que le revenu est faible** : le groupe « Managerial staff » consacre 5,5% de ses dépenses à y ; le groupe « Blue Collar » y consacre 8,5%.

Naturellement, *les taux d'impôt sur le revenu* payés par ces ménages sont très différents. Formellement, l'impôt marginal sur le revenu payé par les quatre groupes est respectivement de 28,8%, 19,2%, 14,4%, et 9,6%, quand on va des plus riches vers les moins riches. Donc, si une politique permet d'augmenter les revenus, l'impôt sur le revenu entraîne automatiquement une certaine redistribution de ce supplément de revenu.

- Le *gouvernement* a à sa disposition plusieurs outils de politique économique. En plus de l'impôt sur le revenu, il taxe le bien de consommation non polluant x , le bien de consommation polluant y , et l'input énergie D utilisé par les entreprises.

Le gouvernement a un *souci de redistribution des plus riches vers les moins riches*. Formellement, il choisit les outils de politique économique en maximisant une *fonction d'utilité sociale* qui est une somme pondérée des utilités des quatre catégories de consommateurs. Le point-clé ici est que, dans cette pondération, apparaît un paramètre (η , dans les articles) appelé « *index d'aversion à l'inégalité* » : plus cet index est élevé, plus la

société attache de l'importance à une certaine égalité entre les consommateurs, c'est à dire plus la volonté de redistribution est forte. Comme l'ensemble des paramètres du modèle, cet index est calibré à partir des données françaises.

B. Information du gouvernement et nature des outils de politique économique

a. Problèmes de base

La nature des outils de politique économique que peut utiliser le gouvernement dépend fondamentalement de *l'information qu'il a sur les agents économiques concernés par ces outils, et sur les transactions (recettes ou dépenses) qu'ils effectuent.*

Si le gouvernement a une information précise sur ce que fait chaque agent économique sur un marché donné, il peut appliquer à chaque agent une taxe (ou une subvention) spécifique.

Considérons par exemple le marché d'un bien x , et supposons que m , agents économiques ($i = 1, \dots, m$) achètent ce bien, chaque agent i achetant la quantité x_i .

Supposons que le gouvernement est capable d'observer toutes les quantités x_i : qui achète, et combien ? Alors, il peut imposer une taxe personnalisée, formalisée par exemple par une fonction $t_i(x_i)$, à chaque agent i . Dans ce cas, la taxe payée par l'agent i pour la dernière unité de bien i est la dérivée $t'_i(x_i)$ qui, en général, dépend de x_i . *C'est pourquoi de tels outils sont qualifiés de non linéaires.* La taxe serait linéaire si elle prenait la forme $t_i(x_i) = t_i x_i$: ici, toutes les unités de bien utilisé par l'agent i seraient taxées au même taux t_i .

A l'opposé, supposons que le gouvernement ne puisse pas observer les consommations individuelles x_i , mais qu'il n'observe par exemple que la consommation totale, c'est à dire la somme des consommations individuelles (on parlera dans ce cas de *transactions anonymes*). Alors, il ne pourra mettre en place qu'une *taxe linéaire*. Il recevra au total la somme tx , où t est la taxe sur chaque unité de bien et où x est la somme des x_i .

Le cas d'anonymité des transactions est le cas le plus fréquent en pratique, en particulier dans le domaine de l'énergie (pensons par exemple à la consommation de carburant pour les automobiles : on ne sait pas qui achète l'essence). Cependant pour certains biens, comme par exemple la consommation d'électricité, on peut considérer que les consommations individuelles sont observables, ce qui peut permettre aux autorités de mettre en place des tarifs non-linéaires, c'est-à-dire spécifiques à chaque agent.

Un autre exemple standard de taxation non linéaire est celui de l'impôt sur le revenu qui, dans tous les pays aujourd'hui, est un impôt progressif, car le gouvernement est capable d'observer les revenus individuels.

Nous n'irons pas plus loin ici car, dans la littérature, les différents auteurs font selon les cas des hypothèses de linéarité ou de non linéarité très variées.

b. Les hypothèses retenues

Dans les articles examinés ici, les hypothèses retenues sont les suivantes :

- c) Les revenus des consommateurs sont observables par le gouvernement. Dès lors, celui-ci peut imposer un impôt non linéaire sur le revenu.
- d) Par contre, les salaires et les quantités de travail individuels ne sont pas observables. Cette hypothèse permet *d'éliminer la possibilité pour le gouvernement de procéder à des transferts forfaitaires (« lump sum ») entre consommateurs.*

Comme on l'a déjà dit ci-dessus, il s'agit là d'une hypothèse-clé de la littérature. Elle est à la base de l'arbitrage que doit faire le gouvernement entre efficacité économique et redistribution.

- e) Concernant les différentes consommations des ménages, on suppose que l'on est dans le cas d'anonymité des transactions (même si, comme on l'a vu plus haut, on pourrait accepter l'hypothèse que dans certains cas, comme la consommation d'électricité, les consommations individuelles peuvent être observables).

En conséquence, les taxes sur ces consommations sont nécessairement linéaires.

C. L'externalité environnementale de base

La pollution, ici les émissions de CO₂, a deux origines. D'une part, l'utilisation de l'input énergie D par les entreprises dans la production des biens de consommation. D'autre part, la consommation de bien y par les consommateurs. Les émissions totales, E , résultent donc de la somme des émissions générées par les entreprises et par les ménages.

Pour réguler ces émissions, les autorités utilisent deux outils : d'une part, elles imposent aux entreprises une taxe t_D sur l'input énergie D ; d'autre part, elles imposent aux ménages une taxe t_y sur la consommation de bien polluant.

D. Le First Best

Supposons provisoirement que le gouvernement peut mettre en œuvre les outils de politique économique qui permettent d'atteindre l'objectif suivant : d'une part, c'est un état de l'économie *efficace*, au sens où il appartient à la frontière de Pareto (en d'autres termes, on ne peut pas augmenter l'utilité d'un consommateur sans diminuer celle d'au moins un autre) ; d'autre part, c'est un état *équitable*, au sens où il maximise la fonction d'utilité du gouvernement qui, comme on l'a vu ci-dessus, est construite de façon à formaliser la volonté de redistribution de la société.

On sait que, de façon générale, il faut utiliser deux types d'outils de politique économique pour parvenir au First Best. D'une part, des taxes/subventions qui permettent de faire face aux externalités. Dans le cas que nous traitons ici, il faut imposer une taxe pigouvienne sur la pollution. D'autre part, des transferts forfaitaires (« lump sum ») qui permettent, dans

l'ensemble des optima de Pareto, de choisir celui qui permet d'atteindre les objectifs de redistribution affichés par le gouvernement.

Dans les travaux de Cremer-Gahvari-Ladoux, les calibrations sont faites de façon à recouper les recommandations faites par le « Groupe Interministériel sur l'Effet de Serre ». Ce dernier a recommandé de fixer une taxe carbone de 229 euro par tonne de carbone, ce qui correspond à 62 euro par tonne de CO₂.

Après calibration, les auteurs déterminent les deux taxes Pigou viennes payées respectivement par les entreprises (t_D) et par les ménages (t_y). Ces deux taxes sont égales puisque le coût marginal social d'une unité de carbone est le même, que cette unité soit émise par des entreprises ou par des ménages. En fait, *la taxe pigouvienne représente entre 4% et 10% des dépenses en énergie polluante*, selon les hypothèses qui sont faites sur ce coût marginal social. Naturellement, plus on suppose ce coût élevé, plus la taxe carbone est élevée.

E. Le Second Best

On aborde ici le point-clé de ces travaux. Rappelons que, pour diverses raisons (problèmes d'information, coûts de transaction, etc.), on suppose que les autorités ne peuvent pas mettre en œuvre les transferts forfaitaires qui leur permettraient de compenser les effets redistributifs des politiques énergétiques et environnementales. Dès lors, elles ne souhaitent plus atteindre une solution Pareto-optimale ; en particulier, elles ne fixeront pas nécessairement les taxes carbone à leur niveau pigouvien. Cela conduirait en effet, de leur point de vue, à trop pénaliser les ménages aux revenus les plus faibles. Comme on l'a déjà dit, elles font donc face à un arbitrage entre efficacité économique et redistribution.

Les **principaux résultats** obtenus par les auteurs sont les suivants (dans tout ce qui suit, nous parlerons de *taxes carbone optimales*, en gardant à l'esprit qu'il s'agit de taxes carbone de second rang puisque, par hypothèse, le gouvernement ne peut pas implémenter le First Best).

f) La taxe carbone optimale payée par les entreprises (t_D) est égale à la taxe pigouvienne.

Ce résultat n'est pas surprenant. En effet, puisque la taxe t_D est payée par les entreprises, elle n'a pas d'effet redistributif particulier entre les ménages dont les revenus sont différents. Dès lors, pour le gouvernement, elle n'intervient pas dans l'arbitrage efficacité/redistribution rappelé ci-dessus. Seul l'aspect efficacité intervient dans le choix du gouvernement ; c'est pourquoi il fixe cette taxe à son niveau pigouvien.

g) La taxe carbone optimale payée par les ménages (t_y) est inférieure à la taxe pigouvienne.

Ce résultat, peut-être le plus intéressant, n'est pas non plus très surprenant. En effet, la taxe carbone a maintenant deux effets très différents : d'une part, elle permet de réguler les émissions de carbone générées par la consommation d'énergie des ménages (c'est l'objectif standard d'efficacité économique) ; d'autre part, elle conduit (indirectement) à une redistribution des ménages à faible revenu vers ceux qui ont des revenus supérieurs, car les premiers consacrent à l'énergie une part plus importante de leurs dépenses totales.

Face à cet arbitrage, en fixant la taxe à un niveau inférieur au niveau pigouvien, le gouvernement « sacrifie » un peu l'efficacité économique au profit de ses objectifs de

redistribution. C'est bien un choix de Second Best. Dès lors, ce choix de second rang a quelques conséquences assez intuitives.

h) *Plus le souci redistributif du gouvernement est fort, plus l'écart entre taxe optimale (de second rang) payée par les ménages et taxe pigouvienne est élevé.*

On a vu ci-dessus (cf. 1.1-iii)) que, formellement, cet objectif de redistribution est mesuré par un paramètre, « l'indice d'aversion à l'inégalité », qui apparaît dans la fonction d'utilité sociale du gouvernement. Plus cet indice est élevé, plus la taxe optimale t_y est faible.

Pour certaines valeurs suffisamment élevées de l'indice, les auteurs montrent même que le gouvernement devrait subventionner la consommation d'énergie *des ménages les moins riches*. Ici aussi, pour les mêmes raisons, le résultat n'est pas surprenant.

i) *Par rapport à la situation de First Best, la taxation optimale génère une augmentation de la pollution globale.*

Ici encore, il n'y a pas de surprise. Le souci de redistribution a un coût en terme d'efficacité : l'augmentation de la pollution.

Remarque : comme on l'a déjà dit ci-dessus dans le chapitre 1, ce type d'analyse est statique. C'est ce qui permet aux auteurs de faire une étude très détaillée ; mais c'est aussi ce qui peut suggérer des extensions.

En effet, si on se place dans une perspective dynamique, on sait que taxer le carbone augmente les inégalités à court terme (comme l'analysent Cremer-Gahvari-Ladoux), mais cette politique réduit les inégalités à long terme car ce sont probablement les agents pénalisés à court terme qui en bénéficieront plus.

II. CHANGEMENT CLIMATIQUE ET REDISTRIBUTION

Dans la section qui suit, nous revenons sur la question du changement climatique, et nous mettons l'accent sur les aspects redistributifs qui lui sont liés. En effet, comme on l'a déjà développé dans le premier chapitre, il n'est pas possible d'envisager de mener une politique climatique sérieuse sans tenir compte des effets redistributifs puissants qu'elle génèrera : redistribution entre pays développés et pays en développement, redistribution entre pays producteurs de ressources fossiles carbonées et pays utilisateurs, etc.

Dès lors, dans un monde où les Etats sont *souverains*, il devient fondamental de mettre en place des systèmes de *compensation*, c'est-à-dire des transferts, afin que ces pays acceptent de s'engager à signer des accords et à les respecter.

Nous commençons par faire une présentation générale de cette question – la plus concise possible – en insistant sur les aspects redistributifs, lorsqu'ils apparaissent. Puis, nous verrons que la question de la redistribution et des transferts est un élément important dans le choix que font les économistes entre les deux solutions concurrentes que sont la taxe carbone ou les permis échangeables.

A. Quelques rappels

Nous faisons donc d'abord un tour d'horizon rapide de quelques éléments simples relatifs à la question du changement climatique.

a) **Emissions de GHG_s-concentration-températures**

Au niveau du climat, le mécanisme de base est le suivant : les émissions (flux) de gaz à effet de serre (GHG_s dans la littérature anglo-saxonne) provoquent une hausse progressive de la concentration (stock) de ces gaz ; celle-ci va entraîner une augmentation des températures à la surface du globe et, à terme, une détérioration des conditions de vie des générations futures. Rappelons quelques données sur ce mécanisme.

Les *émissions* de gaz à effet de serre (GHGs) augmentent progressivement depuis le début de l'ère industrielle. Malgré les mises en garde des scientifiques, ces émissions ont augmenté très fortement, allant de 30 GTCO₂eq/an en 1970 à 50 GTCO₂eq/an en 2013.

La conséquence directe est que la *concentration* en gaz à effet de serre dans l'atmosphère est passée de 285 parties par millions (ppm) de CO₂ équivalent dans les années 1800, à plus de 435 ppm de CO₂ équivalent aujourd'hui.

De 1930 à 1950, la concentration a augmenté d'environ 0,5 ppm par an ; de 1950 à 1970, d'environ 1ppm par an ; de 1970 à 1990, de 2 ppm par an ; et au cours de la dernière décennie, de 2,5 ppm par an.

Si on ne change pas nos comportements au cours des 100 prochaines années, cette concentration est appelée à augmenter d'au moins 300 ppm, pour atteindre environ 750 ppm de CO₂eq à la fin du XXI^{ème} siècle, voire plus. A ce niveau de concentration, *les températures* auraient environ une chance sur deux de dépasser de 5°C le niveau qui était le leur pendant l'ère préindustrielle.

Plus précisément, d'après l'IPCC (2014), la température moyenne augmentera de 2,5°C à 7,8°C à la fin du siècle, après avoir augmenté de 1°C depuis un siècle.

Les scientifiques pensent qu'un accroissement ne dépassant pas 2°C au-dessus de la température globale du XIX^{ème} siècle semble souhaitable. Ils considèrent en effet que des températures supérieures deviendraient dangereuses. Pour limiter la hausse de la température à 2°C, il faudrait limiter la concentration à 530 ppm CO₂eq.

Donc, le monde fait face dès aujourd'hui à un **énorme challenge** pour réduire le flux d'émission de GHG. Par exemple, Nicolas Stern affirme : « Pour garder une chance raisonnable (disons 50-50) de contenir l'accroissement de température à 2°C, il nous faut faire

tomber nos émissions de 50 milliards de tonne de CO₂eq actuellement à 20 milliards de tonnes en 2050 - une chute par un facteur de 2,5. Donc, si ce qui est produit croît par un facteur de 3 dans les 40 ans qui viennent, les émissions par unité produite doivent chuter par un facteur de 7 ou 8 (3×2.5). Cet objectif n'est atteignable que par un changement radical dans tous les principaux secteurs et les grandes régions». Dans le même ouvrage, Roger Guesnerie rajoute : « Si nous voulons en effet avoir réellement une chance sur deux de limiter la hausse des températures de 2°C, il faut que le monde émette moins de 20 milliards de tonnes de CO₂eq en 2050. Comme la planète comptera environ 9 milliards d'habitants, cela implique des émissions moyennes d'environ 2 tonnes de CO₂eq par tête ».

b) Qui est/sera affecté par le changement climatique ?

Comme on l'a déjà dit, la hausse des températures affectera en premier lieu les *générations futures*. Donc, du point de vue de la redistribution, on peut considérer que l'inaction des générations présentes génère un transfert implicite de bien-être des générations futures vers les générations présentes. En conséquence, la mise en place de politiques climatiques (si elle a lieu) provoquera inversement un transfert des générations présentes vers les générations futures.

On l'a déjà dit aussi en citant Nicolas Stern, « ce sont les *pays en développement* qui seront touchés les premiers et le plus fortement ».

Enfin, nous savons (toujours en citant Nicolas Stern) que « *Les populations les plus pauvres des pays riches* risquent aussi d'être durement touchées ».

c) La nature des coûts : le Coût Social du Carbone (SCC : « Social Cost of Carbon »)

Les coûts potentiels du changement climatique sont de plusieurs sortes. Par exemple, Roger Guesnerie (2012) en distingue trois de natures différentes. D'abord, les coûts matériels *stricto sensu* : la construction de digues, les destructions provoquées par des événements extrêmes, les pertes de rendements agricoles, etc. Ensuite, les coûts humains : on pense ici à toutes les souffrances associées aux migrations forcées (risques de conflits,..) ; on pense aussi aux conséquences sur la santé et la mort des populations. Enfin, de façon plus générale, le fait que la planète deviendra globalement moins hospitalière pour toutes les générations futures : diminution de la biodiversité, etc.

Certains gouvernements ont demandé à des experts dévaluer ces coûts en calculant un *coût social du carbone* (SCC : « *Social Cost of Carbon* »), c'est à dire le coût d'une unité marginale de carbone émise dans l'atmosphère.

En France, la Commission Quinet (2009) a recommandé un prix du carbone (tCO₂) de 32€ en 2010, 100€ en 2030, et entre 150€ et 350€ en 2050 ; ces évaluations sont faites en utilisant un taux d'escompte réel de 4%.

Aux Etats Unis, la US Interagency Working Group (2013) a utilisé trois taux d'escompte (2,5%, 3% et 5%) pour calculer le SCC. Avec un taux d'escompte de 3%, cette Agence a obtenu un SCC de 32\$ en 2010, de 52\$ en 2030, et de 71\$ en 2050.

B. Comment les économistes traitent ces questions : les modèles d'équilibre général dynamique

L'analyse économique des problèmes liés au changement climatique est très complexe, pour au moins trois raisons.

D'une part, il s'agit d'un *phénomène mondial, c'est à dire très global*. Dès lors, il met en cause une multitude d'interrelations entre agents économiques, entre marchés, etc. Par exemple, les politiques climatiques vont modifier le fonctionnement du climat, ce qui va « rétroagir » sur l'activité économique (agriculture, etc.), et donc la production, la consommation, les investissements en R&D, etc.

D'autre part, l'essentiel de la question étudiée concerne *le moyen-long terme* (au-delà d'un siècle). Donc, l'analyse est fondamentalement intertemporelle, c'est à dire dynamique.

Enfin, la plupart des phénomènes analysés sont soumis à une plus ou moins grande part d'*incertitude*. C'est le cas par exemple des phénomènes climatiques eux-mêmes (relations entre émissions de GHG_s et concentration ; relations entre concentration et températures ; impacts des hausses de températures sur l'économie, etc.). C'est le cas aussi des activités économiques, comme les activités de R&D, où l'aspect aléatoire est souvent la règle.

Pour faire face à cette complexité, les économistes ont construit notamment des *modèles d'équilibre général dynamique* (cf. par exemple le modèle DICE de W. Nordhaus et ses différentes extensions). On en présente ici les principales caractéristiques.

a) Les modèles d'équilibre général dynamique

Pour l'essentiel, **la structure de base** de ces modèles est la suivante.

Le volet travail/consommation est formalisé de façon très simple : un consommateur représentatif offre du travail et consomme du bien (« l'output ») final produit par le secteur des entreprises. Ce consommateur a une « durée de vie infinie », ce qui est une façon simple de représenter formellement l'importance (ou non) qu'il attache à ses enfants et, plus généralement, aux générations suivantes. L'arbitrage psychologique qu'il fait entre présent et futur apparaît formellement dans un paramètre appelé « taux de préférence pour le présent ». **Ce paramètre est un élément clé pour expliquer la redistribution intergénérationnelle dans ce type de modèle : plus ce taux est élevé, moins les générations présentes tiennent compte du bien-être des générations futures.**

Le volet production est plus ou moins complexe selon les modèles, mais les principales caractéristiques de ces travaux sont les suivantes.

Les entreprises produisent l'output final à partir de différents facteurs (« inputs ») de production (travail, capital, etc.), parmi lesquels se trouve **l'énergie**. Cette dernière a deux

origines possibles : **l'énergie carbonée** fournie par les ressources fossiles carbonées (pétrole, gaz, charbon), et **les énergies non-carbonées** (éolien, solaire, nucléaire, etc.). L'utilisation des énergies carbonées génère des émissions de gaz à effet de serre qui s'accumulent dans l'atmosphère, et ont donc un impact sur les températures futures. A leur tour, les hausses de températures ont des effets négatifs de deux types : d'une part, elles auront un impact négatif sur l'output que produiront les entreprises (on parle souvent ici d'une fonction de dommage) ; d'autre part, elles auront un impact négatif direct sur l'utilité des générations futures.

Une caractéristique fondamentale de ces modèles est la prise en compte du progrès technique, et en particulier du **progrès technique dédié** (« dedicated technical progress », à la suite des travaux de Daron Acemoglu). Par exemple, dans le secteur de l'énergie, on suppose qu'il y a une activité spécifique de R&D associée à chaque type d'énergie : l'énergie carbonée et l'énergie non carbonée.

b) Croissance économique et émissions de Gaz à effet de serre (GHG) : le volet technique des modèles et la possibilité, ou non, d'atteindre un état de « croissance verte »

Comment, dans ce cadre, est-il possible de produire plus (c'est à dire, en dynamique, d'avoir une croissance positive) en limitant les émissions de GHG ? En d'autres termes, quelles sont les **conditions techniques** permettant d'avoir ce qu'il est convenu d'appeler une « *croissance verte* » ? Il faut ici distinguer deux choses différentes.

D'une part, pour limiter les émissions de CO₂, on peut freiner l'extraction des ressources carbonées ou/et, à extraction donnée, émettre moins (on pense essentiellement ici à la séquestration du carbone).

D'autre part, pour avoir quand même une croissance positive, on peut :

- *substituer* de l'énergie non carbonée à l'énergie carbonée ;
- ou/et profiter du *progrès technique* qui améliorera la productivité dans les différents secteurs de l'économie (c'est l'intérêt des modèles avec progrès technique dédié de pouvoir analyser les impacts sectoriels du progrès technique). Dans le secteur des énergies carbonées, on produira plus avec la même quantité de ressource : pensons par exemple à la baisse progressive de la consommation d'essence des automobiles. Dans le secteur des énergies non carbonées, on aura le même type de phénomène : le progrès technique dans ces secteurs permettra de produire plus car il génèrera une baisse des coûts de production de ces énergies, ce qui favorisera leur substitution progressive aux ressources carbonées.

Naturellement, les modèles de la littérature permettent aux deux mécanismes (substitutions et progrès technique) d'agir ensemble, et donc de se renforcer mutuellement au cours du temps.

Pour finir, si ces deux mécanismes ne fonctionnent pas, ou s'ils fonctionnent peu, une situation de « croissance verte » ne peut pas être atteinte. Par exemple, dans le cas limite où aucune substitution ne serait possible (techniquement, les fonctions de production seraient de type Léontiev) et où il n'y aurait pas de progrès technique, l'économie irait inéluctablement vers une situation de « *décroissance* ».

c) Quelques enseignements de ces modèles : le volet économique et les incitations à mettre en place pour améliorer le bien-être social

Même si une situation de « croissance verte » est techniquement réalisable, il est clair qu'elle n'a aucune chance de se produire si les autorités n'interviennent pas. En effet, dans une situation de laisser-faire (le « business as usual » de la littérature), le comportement décentralisé des agents économiques conduira à des mécanismes économiques (« l'équilibre ») qui s'éloigneront plus ou moins de ce qui est socialement souhaitable (« l'optimum »). Pour ce qui concerne le changement climatique, on a essentiellement les phénomènes suivants :

On extrait les ressources carbonées à un rythme trop rapide ; on n'utilise pas suffisamment les techniques de « mitigation » (atténuation en français), en particulier la séquestration du carbone ; on n'utilise pas suffisamment les énergies non carbonées ; plus précisément, dans une vision dynamique, leur proportion dans le mix énergétique n'augmente pas assez vite ; on ne met pas assez de moyens dans la « recherche verte ».

Si on veut améliorer les choses du point de vue du bien-être social, il est donc nécessaire que les autorités interviennent. C'est là que la modélisation est utile.

La question de l'insuffisance de R&D est assez complexe, et elle dépasse le cadre de cette étude. En fait, l'insuffisance de R&D est essentiellement due à la présence de ce qu'il est convenu d'appeler les « spill-overs de connaissance », c'est à dire le fait que, puisque la connaissance n'a pas de prix, les marchés sont incomplets. De ce fait, celui qui produit de la connaissance (l'innovateur) n'est pas *directement* rémunéré pour cette activité.

Pour ce qui concerne le changement climatique proprement dit, les enseignements des modèles sont très clairs. Comme le dit Nicolas Stern (2012), « Les émissions de GHS constituent une externalité ; à ce titre, elles mettent en défaut l'économie de marché. Les émissions causent des dommages à autrui ; en l'absence d'intervention publique, les émetteurs ne payent pas le prix de ces dommages, ce qui les conduit à émettre plus que ce qui serait socialement souhaitable. C'est la plus grande défaillance du marché que le monde ait connue, car nous contribuons tous au réchauffement climatique et nous serons tous affectés par ses conséquences ».

A partir de cette analyse, pour les économistes, la solution est (en théorie, bien sûr) immédiate : *il faut que le carbone ait un prix*. Puisqu'il n'y a qu'une seule externalité, il suffit qu'il y ait un seul prix. En effet, si il est fixé au « bon niveau », il permettra à la fois de retarder l'extraction des ressources carbonées, de mettre en place les politiques de « mitigation » (et notamment de séquestration) optimales, enfin de conduire à une introduction plus rapide des ressources non carbonées dans le mix énergétique. Eventuellement, couplé à d'autres politiques, économiques, ce prix contribuera à donner de bonnes incitations pour la R&D verte.

Le problème fondamental est la mise en place pratique de ce type de politique.

C. Hétérogénéité, souveraineté et redistribution

Les principaux messages issus de l'analyse économique sont difficiles à mettre en œuvre en pratique, essentiellement parce qu'ils se heurtent à des *questions d'économie politique*.

a. Hétérogénéité et souveraineté

Comme nous l'avons dit à plusieurs reprises, le changement climatique n'affecte pas tous les pays/régions de la même façon. De même, les outils de politique économique que l'on peut mettre en place pour l'atténuer n'auront pas les mêmes effets sur les différents pays/régions. Ici, *l'hétérogénéité est la règle*. Pensons par exemple aux pays en développement relativement aux pays riches, ou aux pays producteurs de ressources fossiles relativement aux pays utilisateurs ; ayons en particulier à l'esprit comment une taxe carbone redistribue de la rente (c'est à dire du revenu) des producteurs aux utilisateurs. En bref, changement climatique et politiques économiques ont des *effets redistributifs puissants* entre pays/régions.

A la question de l'hétérogénéité s'ajoute ici un deuxième problème : la *souveraineté*. Dans le cas d'une économie avec un « Etat-décideur » (comme, par exemple, dans le modèle Crémer-Gahvari-Ladoux ou dans celui de la plupart des modèles d'équilibre général dynamique à agent représentatif), il n'y a pas de difficulté particulière pour mettre en place les politiques économiques qui sont jugées souhaitables par cet Etat : il impose ces politiques aux agents économiques. Dans le cas du changement climatique, les choses sont très différentes ; en effet, il n'y a pas d'autorité internationale ayant le pouvoir d'imposer les politiques économiques jugées nécessaires. Ici, *la souveraineté est la règle*. Chaque pays est libre, ou non, de participer aux accords, et il faut donc mettre en place des procédures qui les incitent à accepter des compromis.

b. Les problèmes posés

Puisque le changement climatique est une externalité mondiale, sa régulation soulève un problème-clé, celui du « *free riding* » (le passager clandestin) : sachant qu'il ne tirera aucun avantage particulier des efforts qu'il pourrait faire, chaque pays aura intérêt à en faire un minimum (tout en bénéficiant, naturellement, des efforts qui seraient éventuellement faits par les autres). Dès lors, en l'absence d'une coordination efficace entre les pays, le monde va inéluctablement vers une situation sans réelle solution, ou vers une solution très imparfaite.

Parmi les solutions « très imparfaites », les économistes sont particulièrement réticents devant toutes celles qui conduiraient à des *prix du carbone différents* selon les pays, les secteurs économiques, les entreprises, etc. Par exemple, Gollier et Tirole (2015) écrivent : « Intuitivement, si l'agent A fait face à un prix du carbone de 30\$/tCO₂ alors que l'agent B fait face à un prix de 10\$/tCO₂, l'agent A investira dans un projet d'abattement coûtant 29\$/tCO₂ alors que l'agent B n'investira pas dans un projet coûtant 11\$/tCO₂. Il y a là clairement une mauvaise affectation des efforts d'atténuation (« mitigation »). En fait, ces différences de prix du carbone peuvent générer des coûts collectifs très importants.

Pour les mêmes raisons, les économistes sont également très réticents devant les solutions de type « command and control » (politiques spécifiques à certains secteurs de l'économie, certaines entreprises, etc.) ; en effet, elles génèrent des coûts collectifs élevés car elles conduisent à des prix implicites du carbone qui peuvent être très différents d'un pays à l'autre, d'un secteur à l'autre, d'une entreprise à l'autre, etc.

Supposons qu'un accord soit atteint au niveau mondial. Alors se pose la question de le faire respecter, c'est à dire de faire accepter et de mettre en place des outils (sanctions, etc.) permettant d'éviter les comportements de « passager clandestin ». Par exemple, Nicolas Stern (2012, page 91) affirme : « Ensuite, il faut que les pays qui ne luttent pas contre l'effet de

serre comprennent les risques qu'ils prennent : le risque de se voir imposer un ajustement aux frontières ; le risque de passer à côté d'une nouvelle révolution industrielle fondée sur les énergies vertes ; le risque de s'exposer à des représailles sur les autres fronts de la coopération internationale : la régulation des marchés financiers ; la lutte contre le terrorisme ou contre la drogue, le commerce international, etc. Dans un monde globalisé, personne ne peut se permettre de faire cavalier seul ».

Cependant, avant cela, il faut faire en sorte que tous les pays acceptent de négocier, et finalement de signer l'accord. *A ce stade, se pose un problème essentiel de compensation.* C'est celui que nous allons examiner ci-dessous.

c. Deux outils possibles : taxe carbone ou permis échangeables (« cap and trade »)

- Le principe

Il y a deux systèmes simples pour réguler les émissions de carbone. Le premier consiste à imposer une *taxe mondiale unique* sur chaque unité de carbone émise dans l'atmosphère : ici, le prix du carbone est donné par la taxe. Dans le second système, une autorité internationale alloue *une quantité donnée de permis* (« quotas ») à polluer aux différents pays/régions. L'affectation initiale peut se faire par un système d'enchères ou par toute autre méthode. Ces permis seront ensuite échangés par les pays/régions sur un marché. De ces échanges mutuellement avantageux résultera un *prix du carbone*.

En l'absence d'incertitude, les deux systèmes sont équivalents. En effet, étant donné un prix du carbone, il est toujours possible de déterminer la quantité totale (c'est à dire l'offre) de permis qui va générer ce prix sur un marché ; et réciproquement.

Observons ici que, du point de vue de l'efficacité économique, *c'est la quantité totale distribuée de permis qui compte, et non la façon dont ils sont distribués initialement.*

En présence d'incertitude, cette équivalence n'est plus vraie en général ; de nombreuses recherches ont été faites sur cette question, notamment à la suite des travaux de Weizman (1974). Nous n'irons pas plus loin sur ce point, car cela dépasse le cadre de cette étude.

Notons ici que beaucoup d'économistes insistent sur *l'impact direct des permis sur les émissions*, alors qu'une taxe carbone aurait un impact plus indirect. Par exemple, Nicolas Stern (2012, page 55) écrit : « J'ai quant à moi une petite préférence pour les marchés de permis. D'abord, parce que l'essentiel est de contenir les émissions – ce qu'on peut faire, de façon certaine, en fixant la quantité de permis en circulation ».

- Un problème-clé d'économie politique : la compensation

Quel que soit le système choisi, taxe carbone ou permis échangeables, il est nécessaire de procéder à des *transferts entre pays*, pour au moins deux raisons que nous avons évoquées à plusieurs reprises : des raisons d'équité (pays en développement/pays riches, etc.), et des

raisons d'efficacité des institutions (vaincre les réticences des pays qui hésitent à s'engager dans des accords internationaux). C'est un point décisif sur lequel les deux systèmes sont très différents.

Avant de poursuivre l'analyse, rappelons quelques chiffres qui permettent d'avoir une idée claire des enjeux. Nous avons dit que les émissions mondiales sont aujourd'hui d'environ 50 milliards de tonne de CO₂eq. Si on prend un prix unitaire (relativement faible) de 25\$/tonne, on obtient une valeur totale du flux d'émissions de 1250 milliards de \$. C'est sur cette base que se pose la question des transferts.

Dans le cas d'une taxe carbone, il faut que certains pays (notamment, les plus riches) effectuent des *transferts directs* vers les autres (les plus pauvres, etc.).

Dans un tel cadre, on peut envisager par exemple un système de « green fund » (cf. de Perthuis-Jouvet 2015 et Gollier-Tirole 2015) : c'est un système de bonus-malus dans lequel les pays ayant des émissions par tête élevées financeraient les projets « verts » de pays à faibles émissions par tête.

Dans un tel système, tout pays dépassant le niveau moyen des émissions par tête verserait un malus pour chaque tonne émise au-dessus de ce seuil ; de façon symétrique, tout pays émettant moins que ce seuil recevrait un bonus calculé sur le nombre de tonnes qu'il a permis d'économiser par rapport à la moyenne mondiale. Par construction, un tel dispositif s'équilibrerait d'année en année. En pratique, les études montrent que les principaux contributeurs (c'est à dire les pays payant un malus) seraient les Etats-Unis (34 428 millions de \$), la Chine (15 742 millions), la Russie (11 064 millions), l'Union Européenne (10 325 millions). Les principaux bénéficiaires seraient l'Inde (38 955 millions), le Bangladesh (6 244 millions), le Pakistan (5 997 millions), le Nigeria (5 311 millions), l'Indonésie (5 241 millions).

Dans le cas de permis échangeables, c'est à travers la *distribution des permis* entre les pays que s'effectueraient les transferts.

C'est notamment (mais pas seulement) ce point clé d'économie politique qui explique pourquoi beaucoup d'économistes pensent qu'un système de permis négociables est préférable à celui d'une taxe carbone.

Par exemple, Nicolas Stern écrit (2012, page 56) : « Les marchés de permis sont, d'un point de vue politique, plus faciles à mettre en place que les taxes. Il existe, en effet, une façon fort simple d'attirer au début les entreprises dans un marché de permis : en leur attribuant des permis gratuits ! Si la puissance publique fixe un quota de permis et les distribue gratuitement aux entreprises, sur la base de leurs émissions passées, l'instauration du marché de permis ne coûte initialement rien aux entreprises. Mais les entreprises qui vont vouloir augmenter leurs émissions vont devoir se procurer des permis, que leur vendront les entreprises qui seront parvenues à réduire les leurs. *In fine*, le carbone aura la même valeur que si une taxe était instaurée, mais l'expérience prouve que la création d'un marché suscite moins de résistance de la part des entreprises que l'instauration d'une taxe. »

Dans le même ouvrage, un peu plus loin, Roger Guesnerie affirme : « Je souscrit à l'argumentaire d'économie politique en faveur des permis,.. »

Dans la même ligne de pensée, Christian Gollier et Jean Tirole (2015) écrivent : « A notre avis, un green fund est trop transparent pour être politiquement acceptableQu'on le veuille ou non, la question de la transparence est l'une des raisons pour lesquelles les programmes de contrôle de pollution les plus réussis dans le monde ont adopté un système de « cap and trade », et ont géré le problème de la compensation en distribuant des permis négociables (souvent selon un système de « grandfathering »), ce qui est une méthode politiquement moins contraignante ».

Finalement, cette *question-clé d'économie politique* conduit beaucoup d'économistes à faire des propositions qui peuvent paraître surprenantes. Par exemple, Nicolas Stern écrit (2012, page 96) : « on peut même imaginer que les pays riches se voient attribuer des permis négatifs ». Un peu plus loin (page 97), on trouve : « D'un point de vue éthique, il existe des arguments très solides en faveur d'une attribution de tous les permis aux pays en développement ».

III. UN MONDE DE « SECOND RANG »

Pour les économistes, *un monde de premier rang* (« first best ») serait celui dans lequel une autorité centrale, le « planificateur omniscient et bienveillant » de la littérature économique, pourrait utiliser tous les outils nécessaires (taxes, subventions, etc.) pour lutter contre les externalités, et dans lequel il pourrait simultanément gérer les questions de redistribution en procédant à tous les transferts qu'il jugerait nécessaires.

Par exemple, dans les modèles d'équilibre général dynamique évoqués ci-dessus, il y a fondamentalement deux types d'externalités : les émissions de gaz à effet de serre et les externalités de connaissance. Dans ce cadre, le fonctionnement de l'économie est optimal (au sens parétien) si ce planificateur utilise deux outils : donner un prix au carbone (en utilisant une taxe carbone ou un système de permis échangeables), et subventionner la R&D pour compenser l'absence de prix de la connaissance. Dès lors, le planificateur peut effectuer tous les transferts souhaités, tout en maintenant l'économie sur la frontière de Pareto. Ici, il n'y a *aucun conflit entre efficacité et redistribution*.

Le monde dans lequel nous vivons n'est pas celui que nous venons d'évoquer. En effet, comme nous l'avons vu, il est en général très difficile de procéder à tous les transferts souhaités. Dès lors, les autorités sont obligées de prendre les mesures qu'elles pensent être les meilleures *dans un monde de second rang* (« second best ») : par exemple, dans le modèle de Cremer-Gahvari-Ladoux (cf. la section 1 ci-dessus), elles fixent une taxe carbone qui est inférieure à la taxe pigouvienne (c'est à dire la taxe de premier rang). En fait, ce modèle reste très simple, en particulier parce qu'il est statique et parce qu'il représente l'économie d'un pays isolé. Si l'on veut aller plus loin dans l'analyse des questions liées à l'effet de serre, il faut raisonner dans un cadre dynamique et prendre en compte l'aspect international du problème. Le *cadre dynamique* complique beaucoup l'analyse : les agents économiques ont des comportements complexes (avec notamment des stratégies liées au temps) ; parmi ces

agents, le planificateur lui-même doit gérer le temps (par exemple, comment annoncer de façon crédible une trajectoire temporelle de permis négociables ?) ; plus généralement, les outils de politique économique ne sont plus des nombres, mais des fonctions du temps. De plus, *l'aspect international* pose un problème-clé : celui de la *souveraineté des Etats*. Au niveau mondial, il n'y a pas comme au niveau national- d'autorité pour imposer des politiques économiques. La mise en place des politiques énergétiques et environnementales exige l'accord des Etats souverains (ou, au moins, d'une partie suffisante d'entre eux).

Comment agir le plus efficacement possible dans ce monde de second rang ?

Pour rendre « acceptables » (dans un sens très général) les politiques économiques nécessaires, *il faut d'abord réaliser un certain nombre de transferts*, notamment vers les pays en développement. Comme nous l'avons vu ci-dessus, beaucoup d'économistes pensent que, de ce point de vue, un système de permis échangeables est préférable à une taxe carbone, car il permet de réaliser plus facilement les transferts souhaités. Mais *cela n'est probablement pas suffisant* pour atteindre tous les résultats recherchés. Par exemple, comme le fait remarquer Dominique Finon (4th European Energy Forum, Paris, 12th – 13th March 2015, Conseil Français de l'Energie, p. 31), « However, that very high carbon prices raise issues of acceptability. We therefore cannot rely only on carbon pricing but need to introduce other tools as well. ». Cette idée que l'acceptabilité - et peut-être aussi l'efficacité - de certaines politiques économiques peut être améliorée en utilisant simultanément différents outils est certainement une voie riche. A titre d'exemple, on peut citer les résultats préliminaires présentés par Gilles Lafforgue lors de la conférence « Les enjeux économiques de la conférence de Paris-climat 2015 », le 4 Juin 2015. A partir de simulations dans un modèle d'équilibre général dynamique calibré, il montre que l'utilisation conjointe d'un prix du carbone et de subventions à la R&D verte permet d'atteindre l'objectif de +2°C avec un prix beaucoup plus bas qu'en l'absence de subventions à la R&D. Plus précisément, en l'absence de subventions-R&D, le prix du carbone atteindrait des niveaux de l'ordre de 250 euro en 2035, 400 euro en 2050, etc., c'est à dire des niveaux très élevés. En utilisant conjointement une politique de subventions à la R&D, l'objectif de +2°C pourrait être atteint avec un prix du carbone passant par un maximum de 250 euro vers 2060, ce qui semble plus acceptable socialement. Naturellement, ces résultats devront être affinés et complétés.

CONCLUSION

Ce rapport part de l'observation simple que les politiques énergétiques et environnementales ont des effets redistributifs, essentiellement parce qu'elles concernent des agents économiques-ou des entités- *hétérogènes*.

Par exemple, on sait que les *ménages* dont les revenus sont les plus faibles sont aussi ceux dont la part des dépenses consacrées à l'énergie dans les dépenses totales est la plus forte ; dès lors, taxer l'énergie conduit à une redistribution « dans le mauvais sens » des plus pauvres vers les plus riches. De même, les ménages résidant loin des centres-villes dépensent plus pour l'énergie que les autres ; dès lors, ils sont plus touchés par ces politiques que les autres.

On peut faire le même type d'observation pour les *différents pays-ou les différentes régions du monde*. Par exemple, donner un prix au carbone (en utilisant des permis négociables ou une taxe) va à l'évidence affecter d'avantage les gros émetteurs (Etats-Unis, Chine, Union Européenne, Russie,...) que les autres. De même, une telle politique économique va redistribuer des revenus des pays producteurs de ressources fossiles vers les pays utilisateurs. Mais, à l'inverse, ne pas mettre en place une politique climatique efficace aurait pour effets de pénaliser les générations futures, et en particulier celles des pays les plus pauvres : d'une certaine façon on peut dire que, si elles refusaient de faire les efforts nécessaires aujourd'hui, les générations présentes imposeraient à celles qui les suivront une redistribution « ex ante » du futur vers le présent.

Ces effets redistributifs soulèvent plusieurs types de questions.

En premier lieu, bien sûr, des questions d'*éthique*. A cet égard, comme nous l'avons vu, nous avons à nous soucier des ménages aux revenus les plus faibles dans les pays développés aujourd'hui, de même que des générations futures et des pays en développement qui souffriront le plus de l'effet de serre dans l'avenir.

En second lieu, des questions d'*efficacité économique*, et en particulier des questions relatives à l'efficacité du fonctionnement des institutions économiques internationales. Par exemple, comment convaincre les pays producteurs de ressources fossiles de signer un accord international conduisant à un prix du carbone, dès lors que ces pays savent qu'un tel prix génère un transfert de revenu de leurs économies vers les économies des pays qui utilisent ces ressources ? De même, comment convaincre les pays en développement de signer un tel accord alors que, pour beaucoup d'entre eux, la priorité est le développement de leurs économies à court et moyen terme ? Enfin, comment convaincre les pays développés de signer, dès lors qu'ils savent qu'ils supporteront l'essentiel du financement de ces politiques à court-moyen terme, et que beaucoup d'entre eux souffriront moins de l'effet de serre que les pays en développement dans le long terme ?

Pour faire face à ces questions, on pourrait envisager de *faire des transferts directs* vers les agents économiques concernés. Par exemple, à l'intérieur d'un même pays développé, on pourrait envisager de compenser les effets régressifs des politiques énergétiques et environnementales en transférant directement des revenus des ménages à revenus élevés vers les ménages à faibles revenus. De même, au niveau international, on pourrait imaginer que les pays utilisateurs de ressources fossiles carbonées compensent les pays producteurs dans le

cas où le carbone aurait un prix. On pourrait aussi imaginer que les pays les plus riches transfèrent directement des revenus vers les pays en développement.

En fait, pour plusieurs raisons, ces transferts directs de revenus sont le plus souvent très difficiles à mettre en place en pratique. C'est donc dans un monde de second rang que les différents pays/autorités doivent choisir les politiques énergétiques et environnementales qui leur paraissent souhaitables.

REFERENCES

- Acemoglu, D., "Directed Technical Change", *Review of Economic Studies* 69: 781-809, 2002.
- Aghion P., Howitt P., *Endogenous Growth Theory*. The MIT Press, 1998.
- Conseil Français de l'Énergie : « 4th European Energy Forum-On the Way to COP21 », Paris, 12th – 13th, March 2015.
- Crampes, C., N. Ladoux et J.M. Lozachmeur, « Social Tariffs for Electricity », Toulouse School of Economics, 2015.
- Cremer, H., F. Gahvari et N. Ladoux, « Environmental taxes with heterogeneous consumers: an application to energy consumption in France », *Journal of Public Economy* 87, 2791-2815, 2003.
- Cremer, H., F. Gahvari et N. Ladoux, « Environmental tax design with endogenous earning abilities (with applications to France) », *Journal of Environmental Economics and Management* 59, 82-93, 2010.
- Cremer, H., F. Gahvari et N. Ladoux, « Energy taxes and oil price shock », Toulouse School of Economics, 2014.
- Dasgupta P.S., Heal G.M., *Economic Theory and Exhaustible Resources*, Cambridge Economic Handbook, 1979.
- Dasgupta P.S., Heal G.M., Stiglitz J., « The Taxation of Exhaustible Resources », NBER Working paper 436, 1981.
- Daubanes J., et A. Grimaud, « Taxation of a Polluting Non-Renewable Resource in the Heterogeneous World », *Environmental and Resource Economics*, vol. 47, n°4, 567-588, 2010.
- Daubanes J., et A. Grimaud, « Effet de serre, échanges internationaux et taxation locale des produits pétroliers », *Revue Economique*, vol. 61, n°1, 115-134, 2010.
- Daubanes J., Grimaud A., et L. Rouge, « Green Paradox and Directed Technical Change: The Effect of Subsidies to Clean R&D », CESifo Working Paper Series 4334, 2013.
- De Perthuis, C., et P.A. Jouvét, « Les voies d'un accord climatique ambitieux en 2015 », *Opinions et Débats* (Numéro Spécial), Février 2015.
- Gollier, C., et J. Tirole, « Effective Institutions against climate change », Toulouse School of Economics, à paraître dans *Economics of Energy and Environmental Policy*, 2015.
- Golosov R., Hassler J., et Krusell P., Tsyvinski A., « Optimal Taxes on Fossil Fuels in General

Equilibrium », *Econometrica* 82(1):41-88, 2014.

Grimaud, A., L. Rouge et M. Bermudez Neubauer, « Politiques de R&D, Taxe Carbone et Paradoxe Vert », à paraître dans dans *Economie et Prévision*.

Grimaud A. et L. Rouge, « Carbon Sequestration, Economic Policies and Growth », *Resource and Energy Economics*, vol. 36, n°2, 307-331, Mai 2014.

Grimaud A., G. Lafforgue, et B. Magné, « Directed Technical Change: A Decentralized Equilibrium Analysis », *Resource and Energy Economics*, vol. 33, n°4, 938-962, Novembre 2011.

Grimaud A., et L. Rouge, « Séquestration du Carbone et Politique Climatique Optimale » *Economie et Prévision*, n° 190-191, 4-5, 2009

Grimaud A. et L. Rouge, « Environment, Directed Technical Change and Economic Policy », *Environmental and Resource Economics*, Vol. 41, n°4 ; 439-463, Décembre 2008.

Grimaud A. et G. Lafforgue, « Climate Change Mitigation Policies: Are R&D Subsidies Preferable to a Carbon Tax ? », *Revue d'Economie Politique*, 119(6), 915-940, Novembre-Décembre 2008.

Grimaud A. et F. Tournemaine, « Why can an Environmental Policy Tax Promote Growth through the Channel of Education ? », *Ecological Economics*, Vol. 62, n°1, 27-36, Avril 2007.

Hotelling, H., « The Economics of Exhaustible Resources », *Journal of Political Economy* 39:137-175, 1931.

Laffont J.J., Tirole J., « Pollution Permits and Compliance Strategies », *Journal of Public Economics* 62:85-125, 1996a.

Laffont J.J., Tirole J., « Pollution Permits and Environmental Innovations », *Journal of Public Economics* 62:127-140, 1996b.

Nordhaus W.D., A Question of Balance, Weighing the Options on Global Warming Policies, Yale University Press, 2008.

Nordhaus W.D., Boyer J.G., Warming the World: Economic Models of Global Warming, The MIT Press, 2000.

Popp D., « ENTICE-BR: The Effects of Backstop Technology R&D on Climate Policy Models », *Energy Economics* 28:188-222, 2006.

Sinn H.W., « Public Policies Against Global Warming: a Supply Side Approach », *International Tax and Public Finance* 15:360-394, 2008

Tirole J. (2008) Some Economics of Global Warming (Angelo Costa lecture), *Rivista di Politica Economica* 98 (9):9-41, 2008.