

*Impact de l'incertitude et de l'inertie
sur les profils temporels des
signaux-prix*

Rapport de synthèse

Principaux résultats

Commanditaire Institut français de l'énergie (IFE)
37, rue du Général Foy, 75008 Paris

Laurent GILOTTE et Michel DE LARA
CERMICS / École nationale des ponts et chaussées
6 et 8 avenue Blaise Pascal, Cité Descartes,
77455 Marne la Vallée Cedex 2

Contrat n°C376

16 décembre 2003

Table des matières

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Taxe optimale en présence de «changement induit» | 2 |
| 1.1 | Pourquoi inclure le «changement induit» | 2 |
| 1.2 | Résultats théoriques : | |
| | Dépense marginale et coût d'opportunité du carbone | 3 |
| 1.3 | Conséquences pour l'instrument taxe carbone. | 4 |
| 1.4 | Que penser de l'anticipation des agents ? | 4 |
| 2 | Différences sectorielles et choix du signal-prix | 6 |
| 2.1 | Les questions | 6 |
| 2.2 | Résultats théoriques | 6 |
| 2.3 | Conclusions | 7 |
| 3 | Effet de l'information sur l'effort d'abattement | 8 |
| 3.1 | Analyse théorique : valeur de l'information | 8 |
| 3.2 | Résultats | 9 |
| 3.3 | Illustration avec le modèle DICE, version CIRED-ENPC | 10 |
| 4 | Partage du coût de l'abattement : quels critères ? | 12 |
| 4.1 | Le partage des coûts : une question non résolue. | 12 |
| 4.2 | L'ambiguïté du contenu de la répartition. | 12 |
| 4.3 | Résultats | 13 |

1 Taxe optimale en présence de «**changement induit**»

1.1 Pourquoi inclure le «**changement induit**».

Changement induit : caractérise une économie ou un secteur où réduire les émissions *aujourd'hui* contribue à modifier aussi les émissions et les coûts de réduction *demain*. En pratique l'ampleur de cet effet est mal connu («incertain»).

Conséquence — l'effet d'inertie : pour réduire les émissions à un coût raisonnable en 2050, il est préférable d'étaler l'effort au cours des décennies précédente pour bénéficier du changement induit. On appellera ce phénomène l'«effet d'inertie».

Rigidité : caractérise une économie ou un secteur dont les courbes de coûts de réduction futurs sont très faiblement influencées par les décisions précédentes.

Un choix de modélisation important :

les modèles qui négligent le changement induit apparaissent irréalistes dans certaines circonstances

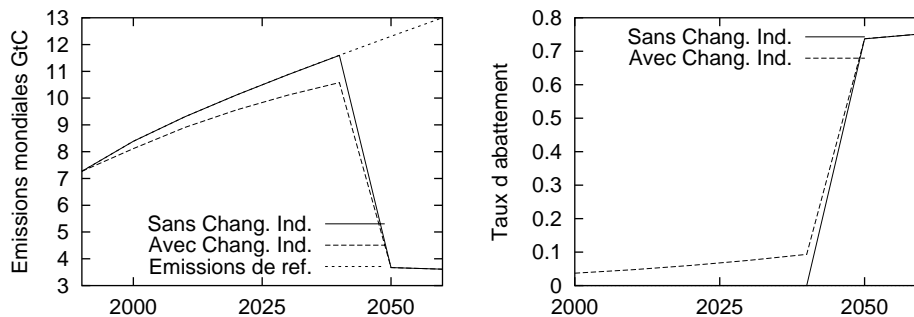


FIG. 1 – Comparaison des stratégies d'abattement avec et sans Changement Induit. Contrainte : réduction par deux des émissions à 2050. Modèle : DICE original et version Cired-Enpc

⇒ Pour un objectif de réduction par deux des émissions mondiales en 2050, et en l'absence de changement induit, il serait inutile de commencer à réduire les

émissions avant 2050 ! Car cela ne contribue pas à abaisser les coûts de réduction à cette date.

⇒ Les approches politiques, sans doute plus réalistes, tiennent implicitement compte de l'effet d'inertie du changement induit :

« Il faudra par la suite diviser par deux nos émissions planétaires de gaz à effet de serre avant 2050, ce qui veut dire [...] un objectif [...] deux fois plus ambitieux pour les pays industrialisés. Il nous faut nous engager dans cette action forte, *en visant un gain d'efficacité énergétique d'environ 3% par an.*» J.-P. Raffarin, 27 Novembre 2002.

1.2 Résultats théoriques :

Dépense marginale et coût d'opportunité du carbone

Dépense marginale d'abattement : la dépense nécessaire pour abattre *immédiatement* une tonne de carbone supplémentaire¹.

Valeur de l'effet d'inertie : en présence de changement induit, c'est la valeur actualisée des diminutions marginales des coûts futurs d'abattement rendues possibles par le changement induit.

Coût marginal de long terme : c'est la dépense marginale à la date de l'abattement moins la valeur de l'effet d'inertie.

Le niveau d'abattement optimal est tel que :

la dépense marginale d'abattement *n'est pas égale* au coût d'opportunité du carbone mais supérieure.

L'écart est égal à la valeur de l'effet d'inertie.

La figure 2 (page suivante) illustre cet écart entre dépense marginale et coût marginal de long terme ; dans le modèle utilisé *la valeur de l'effet d'inertie est de l'ordre de 5–6 USD/tC*, en légère augmentation au cours du temps (les courbes se rapprochent à cause de l'échelle log).

¹Vocabulaire peu stabilisé : on peut aussi utiliser *coût marginal de court terme*, ou *coût marginal statique*

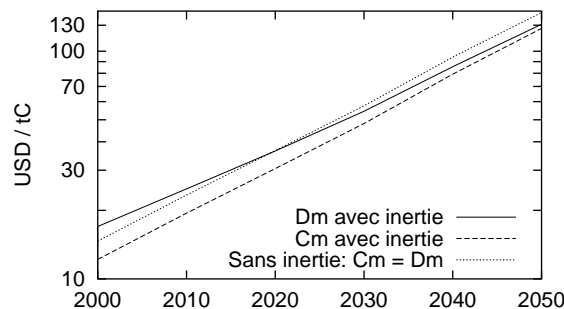


FIG. 2 – Ecart entre dépense marginale (Dm) et coût d’opportunité du carbone (Cm). Contrainte : stabilisation des concentrations à 450ppm. Modèle DICE version CIRED-ENPC.

1.3 Conséquences pour l’instrument taxe carbone.

En général, on identifie taxe carbone et coût d’opportunité du carbone, étant entendu que les agents économiques égalisent leur coût marginal d’abattement avec la taxe. Mais

peut-on supposer que les agents économiques prennent en compte (c’est à dire : anticipent) le changement induit, et avec quelles conséquences pour le choix de la taxe carbone optimale ?

- Dans le cas où les agents économiques *anticipent correctement le changement induit* de leurs coûts futurs, cela signifie qu’à une date donnée *leur effort marginal doit être supérieur à la taxe.*
- Dans le cas où ils ne *prennent pas en compte le changement induit*, ils égalisent dépense marginale et taxe. *Il faut alors choisir une taxe incitative supérieure au coût d’opportunité du carbone et égale à la dépense marginale optimale.*

1.4 Que penser de l’anticipation des agents ?

La théorie économique suppose souvent des anticipations rationnelles, justifiées par l’intervention d’«arbitrageurs» dont les spéculations corrigeraient les anticipations erronées. Dans le cas du changement induit, la validité de la justification dépend de l’interprétation qu’on fait des causes de ce changement. On en rappelle ici deux.

L'inertie de l'appareil productif. Elle provient de la *durée de vie du capital industriel*, qui peut être très importante (40 ans pour une centrale nucléaire). Investir aujourd'hui dans du capital industriel «sans émissions» a un effet à long terme sur les émissions ; donc aussi sur la rentabilité future de ce capital si par exemple la taxe carbone doit être élevée à l'avenir. La rationalité des anticipations est alors envisageable comme une approximation du comportement des investisseurs.

L'inertie des modes de vie et des infrastructures associées. Elle provient de la *rétroaction entre des décisions individuelles très nombreuses* (choix de mode de déplacement, de lieu d'habitation, et des technologies associées) *et l'évolution du capital d'infrastructures* de transports et d'urbanisme et son implantation géographique. Ces décisions individuelles suscitent des «rendements croissants» d'adoption (externalité de réseau) à long terme.

Conclusions. Dans la seconde interprétation, le changement induit est de la nature d'une externalité. L'anticipation de l'effet d'inertie au moment des choix individuels par les agents (ou les marchés) est beaucoup moins crédible.

- Cela justifie un signal-prix supplémentaire, égal à l'effet d'inertie, afin que l'incitation soit suffisante pour des choix compatibles avec la réduction des émissions à long-terme.
- Une forme possible de ce signal est une majoration de la taxe sur les émissions : on remplace alors la *taxe carbone pure* par une *taxe carbone incitative ajustée* des imperfections de marché.
- Mais il est envisageable de distinguer entre secteurs. Ce sera l'objet de la seconde partie.

2 Différences sectorielles et choix du signal-prix

2.1 Les questions

Il existe de grandes différences entre secteurs concernant la durée de vie du capital, le nombre d'acteurs en position de décider, et l'horizon dans lequel s'inscrivent les décisions. Ces différences se traduisent au niveau de la dynamique du changement induit et de sa nature d'effet externe ou non.

L'existence de différences implique-t-elle :

- Un écart entre secteurs du coût marginal de long terme ? En d'autres termes, ceci implique-t-il une différenciation de la *taxe carbone pure* ?
- Une différenciation du signal-prix transmettant l'effet d'inertie du changement induit ? Et donc, par exemple, un *ajustement différencié de la taxe carbone incitative* entre les secteurs ?

2.2 Résultats théoriques

Avec une économie à deux (ou plusieurs) secteurs, on retrouve les principaux résultats obtenus dans la première partie. Une politique optimale d'abattement à long terme a les propriétés suivantes.

Premier résultat :

- Le coût marginal de long terme est le même pour tous les secteurs, égal au coût d'opportunité du carbone. *La taxe carbone pure n'est donc pas différenciée.*
- La répartition optimale des réductions d'émissions entre secteurs prend en compte le changement induit des coûts d'abattement de chacun des secteurs.

Deuxième résultat :

- Pour chaque secteur, il y a un *écart entre dépense marginale d'abattement et coût marginal de long terme.*
- Cet écart est *propre à chaque secteur* et égal à son «effet d'inertie» : la réduction marginale des coûts futurs d'abattement du secteur provoquée par le changement induit.

Troisième résultat :

- Lorsque le changement induit d'un secteur est de la nature d'une externalité, il est souhaitable de lui transmettre un signal-prix supplémentaire afin de l'inciter à des efforts de réductions adaptés à l'objectif de minimisation des coûts actualisés d'abattement.
- Ce signal prix supplémentaire est égal à la valeur de l'effet d'inertie du secteur.
- Une forme possible de ce signal est une majoration de la taxe sur les émissions : on remplace alors la *taxe carbone pure* par une *taxe carbone incitative ajustée* des imperfections de marché.
- **Il s'ensuit une différenciation des taxes incitatives entre les secteurs.**

Secteur «inerte»

- On parlera parfois de «secteur inerte» pour désigner un secteur dont la *taxe incitative ajustée* doit être plus élevée que la *taxe carbone pure*, étant donné le caractère d'externalité du changement induit dont ce secteur peut bénéficier.
- Le secteur sera dit d'autant plus inerte que l'écart entre sa *taxe incitative* et la *taxe carbone pure* sera grand.

2.3 Conclusions

Concernant les transports,

- Il est vraisemblable que les ménages et une part significative des entreprises de transport routier ne prennent pas en compte le changement induit (externalité).
- Il serait souhaitable d'appliquer au secteur des transports une *taxe carbone* plus élevée que le prix international du carbone (mais est-ce praticable ?)
- Si cela n'est pas possible, il convient d'envisager d'autres moyens de transmettre ce signal-prix. Par exemple aux collectivités locales, responsables d'une part importante de l'investissement en infrastructure, de la gestion des transports collectifs, et de l'évolution des tissus urbains.

3 Effet de l'information sur l'effort d'abattement

Il y a de grandes incertitudes concernant le changement climatique. Certains affirment que ces incertitudes se réduiront dans l'avenir. Il sera alors possible de choisir la politique la plus adaptée à la réalité des risques climatiques. Mais l'étendue des choix futurs qui seront disponibles et leurs coûts dépendent des actions qui seront menées dans l'intervalle.

- Les décisions présentes conditionnent notre capacité future à bénéficier de l'information que nous recevrons.
- Cela conduit-il à prendre aujourd'hui des mesures plus ambitieuses que si nous prévoyions la persistance des incertitudes concernant le climat ?

3.1 Analyse théorique : valeur de l'information

La situation où l'avenir apportera de l'information est toujours préférable à la situation où l'incertitude persistera parce qu'elle permettra d'adapter la décision future à la situation réelle.

L'information a donc une «valeur». Il y a deux façons de l'envisager

Définition usuelle en économie du changement climatique :

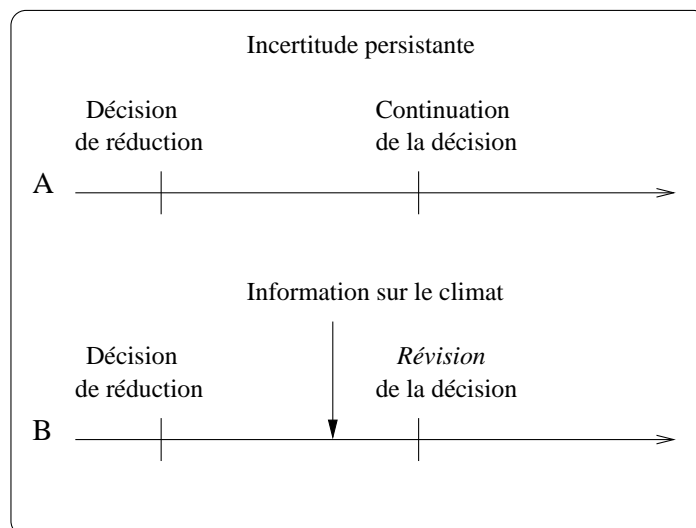


FIG. 3 – Valeur de l'information : gain à passer du schéma A au schéma B.

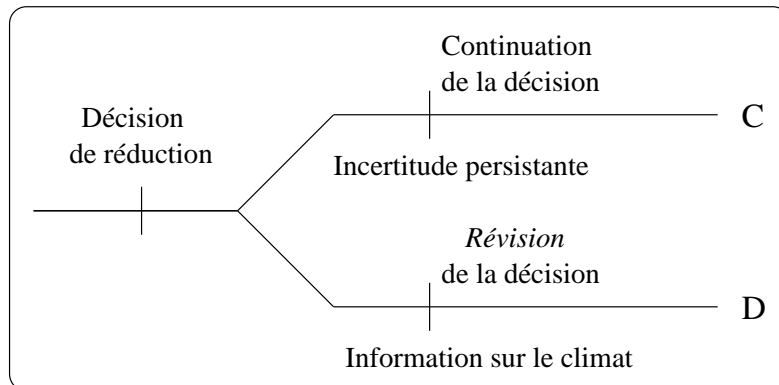


FIG. 4 – Valeur de l’information : ce que l’on gagne à passer de la branche C à la branche D. Elle dépend de la décision initiale de réduction.

Définition fonctionnelle de la valeur de l’information :

Cette définition de la valeur de l’information va permettre de prendre en compte l’impact de la décision initiale sur la disponibilité et les coûts des décisions futures.

3.2 Résultats

- Dans la situation où le futur apportera de l’information (schéma B, Figure 3), la décision optimale d’abattement est telle que la valeur de l’information subséquente à cette décision (Figure 4) est plus grande que la valeur a priori (Figure 3).
- Dans la situation où l’incertitude persistera (schéma B), la décision optimale d’abattement est telle que la valeur subséquente de l’information est plus petite que la valeur a priori.
- Si la valeur subséquente de l’information s’accroît avec le niveau initial d’abattement, alors l’abattement optimal avec information future (B) est plus grand qu’avec incertitude persistante (A).
- Si la valeur subséquente de l’information diminue avec le niveau initial d’abattement, alors l’abattement optimal avec incertitude persistante (A) est plus grand qu’avec avec information future (B).

La question : Quel est l’effet d’une politique de réduction plus ambitieuse sur la valeur future de l’information sur le climat ?

3.3 Illustration avec le modèle DICE, version CIRED-ENPC

Notre version de DICE incorpore une fonction de dommages «à seuil» : le niveau de dommages reste faible tant que le réchauffement est de moins de 1,7 °C, puis il transite rapidement et reste élevé au delà de 2,3 °C de réchauffement.

L'incertitude porte sur la sensibilité du climat, c'est à dire l'effet d'un doublement de la concentration en CO₂ sur le réchauffement : faible (2.5 °C), moyenne (3.5 °C) ou forte (4.5 °C).

Trois points de vue sont testés :

| Probabilités | Sensibilité du climat | | |
|--------------|-----------------------|--------|--------|
| | 2.5 °C | 3.5 °C | 4.5 °C |
| optimistes | 2/3 | 1/3 | 1/3 |
| centrées | 1/3 | 2/3 | 1/3 |
| pessimistes | 1/3 | 1/3 | 2/3 |

L'information est supposée obtenue en 2040. Avant arrivée de l'information, les politiques d'abattement envisagées vont de : «aucune réduction» sur l'intervalle 2000-2040 («0%»), à «transition vers zéro émissions» pour atteindre 100% de réduction en 2040. Ces politiques sont indicées par le niveau de réduction atteint en 2040.

La Figure 5, page 11, montre comment la valeur de l'information évolue en fonction du niveau de réduction atteint en 2040. Chaque volet correspond à un point de vue sur le risque climatique².

Dans chaque cas, la valeur de l'information diminue avec le niveau d'effort. Les politiques optimales sont indiquées : u_0^* pour le cas où l'incertitude persiste en 2040, et u_0^{**} pour le cas où l'information arrive en 2040. Leur ordre est celui indiqué par les résultats théoriques :

Si aucune certitude sur la sensibilité climatique ne peut être obtenue d'ici 2040, l'effort d'abattement doit être plus intense (de 9 à 21%).

Cet écart est beaucoup plus grand que celui obtenu avec la version standard de DICE qui incorpore des dommages proportionnels au carré du réchauffement.

²Dans chaque cas, la valeur de l'information est normalisée par sa valeur a priori, c'est à dire avant que la politique avant 2040 ne soit choisie. Notez que cette «valeur a priori» dépend en fait du point de vue sur le risque.

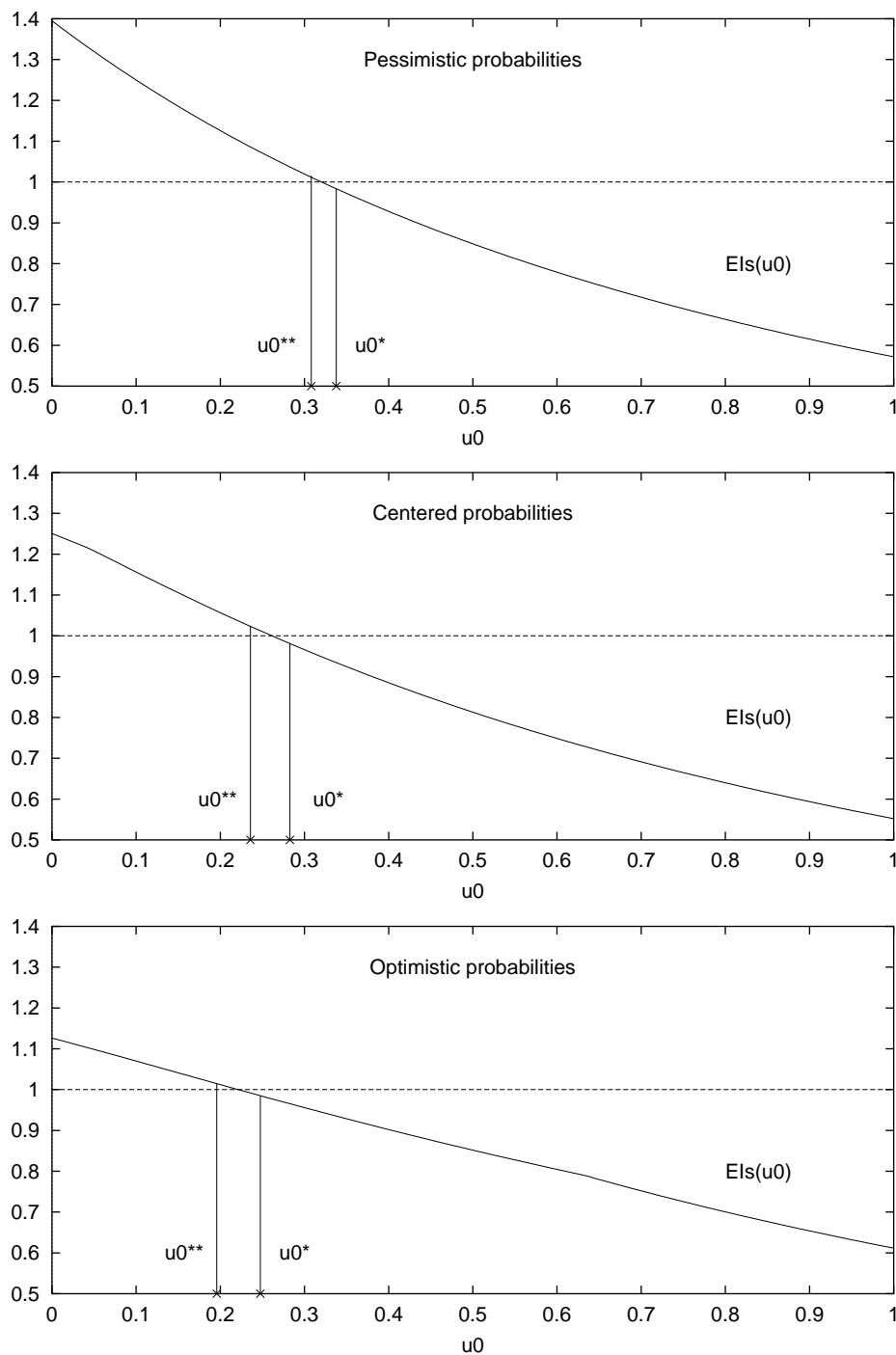


FIG. 5 – Valeur espérée de l'information, $EIs(u_0)$, en fonction de u_0 , le niveau d'abattement visé pour 2040 par la politique choisie. u_0^* : politique optimale avec incertitude persistante en 2040 ; u_0^{**} : politique optimale avec arrivée d'information en 2040.

4 Partage du coût de l'abattement : quels critères ?

4.1 Le partage des coûts : une question non résolue.

- La théorie économique conclut que les niveaux de réduction doivent être répartis entre pays (ou secteurs) de façon à égaliser les coûts marginaux d'abattement.
- En revanche, il n'y a pas de règle générale pour la façon de partager entre pays (ou secteurs) le financement des réductions des émissions.

Taxe carbone et mécanisme redistributif

Une «taxe carbone» fait directement peser sur chaque pays (ou secteur) le poids du financement des réductions qu'il est souhaitable qu'il effectue. De surcroît, toutes les émissions restantes portent la taxe.

- Le produit fiscal peut être utilisé pour rectifier le partage des coûts, mais cela appelle des mécanismes de redistribution supplémentaires.
- Au niveau d'un pays, il peut s'agir de la réduction d'autres taxes (d'où le débat sur le double dividende).
- Entre pays différents, le reversement d'un produit fiscal est encore difficile à envisager.

Les permis négociables incorporent la redistribution du financement

L'instrument «permis négociables» conjoint à la fois le mécanisme incitatif et le mécanisme redistributif :

- C'est la participation au système de permis, donc l'obligation de détenir un nombre de permis couvrant ses émissions qui est incitative.
- C'est la quantité de permis obtenus initialement à titre gratuit qui effectue la distribution.

La question : Comment définir une répartition équitable des permis d'émission négociables ?

4.2 L'ambiguïté du contenu de la répartition.

La question de la répartition des permis peut s'aborder sous différents angles, selon les données que l'on compare entre pays. Il peut s'agir de comparer :

- Les volumes de permis reçus, et eux seuls ;
- Les coûts d'abattement nets (*i.e.* nets des ventes de permis) ;

- Les coûts d’abattement nets plus les dommages subis ;
- La responsabilité dans les dommages totaux subis par les autres.

Ces types de données sont listés par ordre de difficulté à les mesurer. L’approche est très différente suivant les données qui font l’objet de la comparaison.

Le volume de permis :

A ce niveau, l’équité est souvent identifiée à la répartition des permis proportionnelle à la population (per capita).

Le partage des coûts qui en résulte est alors considéré comme équitable par définition.

Inconvénient : néglige les conséquences.

Les coûts d’abattement.

La notion clef est celle de «capacité à payer» (*ability to pay*). Elle reste imprécise mais conduit à exclure les répartitions de permis telles que :

- Il y a des pays dont le coût d’abattement net est négatif (ce qu’ils dépensent pour réduire est plus que compensé par leur ventes de permis).
- Il y a des pays pauvres dont le coût d’abattement net est plus lourd en proportion du PIB que pour certains pays riches.

Inconvénient : néglige la répartition des bénéfices de la réduction.

Les coûts d’abattement et les dommages

La notion clef est celle de Pareto-amélioration.

En ce sens, ne sont acceptables que les répartitions de permis telles que chaque pays y gagne par rapport à une situation de référence (p.ex. l’absence de réduction concertée).

Inconvénient : prend comme référence une situation où des pays subissent des dommages dont d’autres sont les principaux responsables.

Les responsabilités dans les dommages *Inconvénient : il n’y a pas de théorie incontestable pour définir le partage des responsabilités.*

4.3 Résultats

Ces approches sont potentiellement exclusives, comme l’illustre la situation de la Figure 6 (que l’on vérifiera numériquement ensuite) :

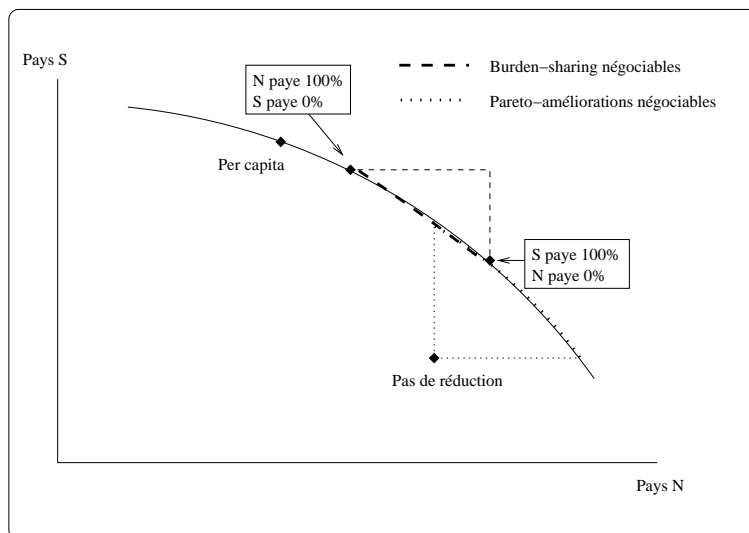


FIG. 6 – Incompatibilité entre les approches : per capita ; partage des coûts ; amélioration depuis le point de menace.

En théorie, on peut définir la quantité de permis telle qu'un pays (ou secteur) compense totalement son coût d'abattement par des ventes de permis non utilisés.

Cette quantité de permis est toujours inférieure aux émissions qui seraient réalisées en l'absence d'incitations à l'abattement.

La Figure 7 page 15 trace les quantités de quotas reçus par les pays d'Europe occidentale et par la Chine dans différentes hypothèses :

- Répartition per capita
- Répartition grandfathering
- Répartition en sorte que les coûts supportés soient proportionnels aux PIB (proportional burden-sharing)
- Répartition en sorte que les pays en développement supportent un coût nul (no-harm burden-sharing).

Dans tous les cas, l'Europe est acheteuse nette de quotas. Ses émissions après abattement restent supérieures à chacune des allocations de quotas envisagées. Dans presque tous les cas, la Chine est vendeuse nette de quota. On vérifie que l'allocation de quotas qui permet à la Chine de totalement compenser ses coûts d'abattement est effectivement inférieure aux émissions après abattement.

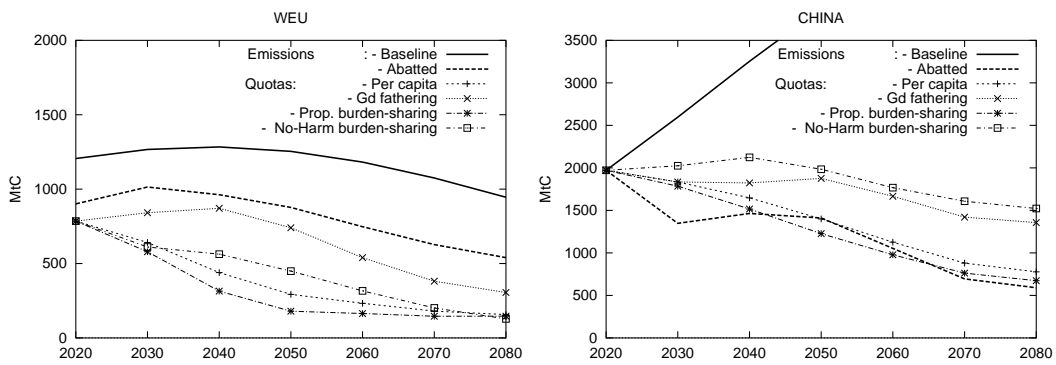


FIG. 7 – Emissions et allocations de quota pour l’Europe occidentale et pour la Chine.

Enfin, la Figure 8 vérifie les incompatibilités entre la recherche de l’équité via le partage des coûts (burden-sharing) et la recherche d’une Pareto-amélioration depuis le «point de menace» (accord profitable), incompatibilités suggérées par la Figure 6. L’axe horizontal correspond au bien-être agrégé et actualisé des Pays de l’Annexe B (hors ex-URSS). L’axe vertical fait de même pour les pays Non-Annexe B.

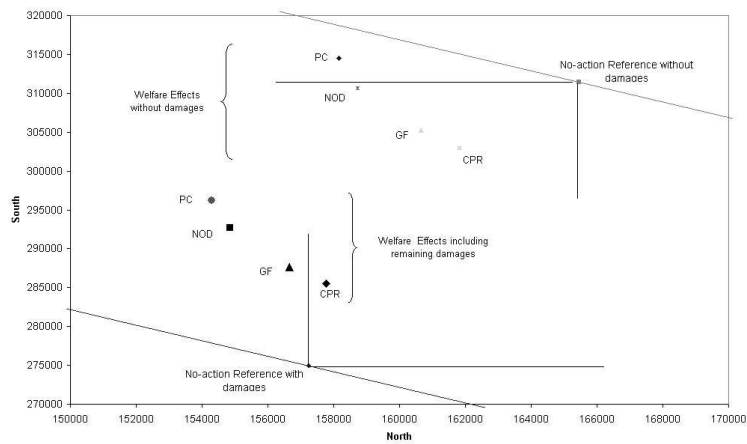


FIG. 8 – Effet comparé sur le bien-être de quatre allocations de quotas

Seule l’allocation des quotas permettant un partage proportionnel des coûts est profitable à tous les pays. Mais, parmi celles testées, c’est l’allocation la plus défavorable aux pays Non-Annexe B. En fait les bénéfices (réduction des dommages)

de l'abattement ne se matérialisent qu'après 2050. Cette allocation implique donc que les pays Non-Annexe B subissent effectivement des coûts positifs avant 2050, période pendant laquelle ils sont encore relativement pauvres. C'est justement sur cette base que ces pays refusent le grandfathering dont les effets sont comparables.