

Philippe Quirion

SMASH/CIRED (Centre international de recherches sur l'environnement et le développement)

45 bis, avenue de la belle Gabrielle, F-94736 Nogent-sur-Marne cedex, France

Tel. +33 (0)1 43 94 73 95, Fax. +33 (0)1 43 94 73 70

quirion@centre-cired.fr

Les effets des politiques environnementales sur la compétition internationale

Rapport final pour l'Institut français de l'énergie

Décembre 2003

Introduction	2
1. L'impact de la limitation des émissions de CO2 sur la compétitivité est-il comparable à celui des variations de taux de change ?	2
1.1. Sources de données	3
1.2. Exposition au commerce extracommunautaire et intensité en CO2	4
1.3. Vente aux enchères de quotas (ou taxe) sans recyclage des recettes	5
1.4. Recyclage des recettes par baisse des cotisations sociales employeurs	10
1.5. Prise en compte des réductions d'émission	11
1.6. Pérennité comparée des variations de change et des politiques environnementales asymétriques	12
1.7. Conclusion	14
2. L'impact du futur marché de quotas d'émission de gaz à effet de serre sur la compétitivité de l'industrie européenne du raffinage de pétrole	16
2.1. Le modèle et le scénario de référence	16
2.2. L'estimation du coût de réduction des émissions	19
2.3. Les élasticités-prix des importations et des exportations	20
2.4. Le cas particulier du fuel lourd	21
2.5. Résultats avec vente aux enchères intégrales des quotas	21
2.6. Résultats avec allocation gratuite absolue des quotas	23
2.7. Résultats avec allocation proportionnelle à la production	24
2.8. Comparaison avec les variations de taux de change	25
2.9. Conclusion	26
3. Les objectifs relatifs sont-ils justifiés par l'incertitude?	27
3.1. Les objectifs d'émission relatifs en pratique	27
3.2. Leçons de la littérature existante	28
3.3. Hypothèses centrales et présentation du modèle	28
3.4. Trois instruments de politique publique	29
3.5. Quel rôle pour les quotas relatifs?	31
3.6. Variations des émissions BaU moins que proportionnelles à la production	33
3.7. Conclusion	34
4. Conclusion générale	36
4.1. Analyse théorique de l'effet des différents instruments	36
4.2. Analyse multisectorielle dans le cas du marché de quotas de CO2 en Europe	36
4.3. Analyse appliquée à différents secteurs intensifs en énergie	37
Références	39
Annexe I. Liste des publications de 2001 à 2003	41
Annexe II. Programme de la Journée de réflexion et de débat « Compétitivité et politique climatique » organisée par l'IFE et l'Iddri jeudi 15 janvier 2004	42

Introduction

Ce document constitue le rapport final dans le cadre du contrat conclu entre la SMASH/CIREC et l'IFE sur "Les effets des instruments économiques des politiques environnementales sur la compétition internationale". Le premier rapport intermédiaire de ce projet, remis en décembre 2001, proposait un cadre théorique général, applicable à différents problèmes environnementaux et à différentes industries. Le deuxième rapport intermédiaire, remis en décembre 2002, se concentrait sur la question du changement climatique et sur un instrument, le projet de directive européenne qui vise à créer des quotas échangeables de gaz à effet de serre en Europe. Cette directive constitue en effet la principale mesure du Programme européen contre le changement climatique.

Ce troisième rapport évalue tout d'abord les conséquences de cette directive dans les différents secteurs de l'industrie européenne, selon différentes hypothèses quant aux élasticités du commerce extérieur et quant au mode d'allocation des quotas (chapitre 1). Trois secteurs apparaissent particulièrement sensibles : la sidérurgie, les minéraux non métalliques (essentiellement le ciment) et les combustibles (essentiellement le raffinage de pétrole).

La sidérurgie ayant fait l'objet d'une étude particulière, présentée dans le second rapport intermédiaire, nous étudions ici de plus près le secteur du raffinage de pétrole (chapitre 2)¹.

Dans le troisième chapitre, nous revenons sur l'un des instruments présentés comme à même d'atténuer les problèmes de compétitivité : l'utilisation d'objectifs d'émission relatifs.

Enfin, le quatrième chapitre constitue une conclusion générale aux deux rapports intermédiaires et au présent rapport final.

L'annexe I liste mes publications sur la période 2001-2003, l'annexe II reprend le programme du séminaire organisé conjointement par l'IFE et l'IDDRI dont j'ai assuré le programme scientifique et l'organisation, conjointement avec MM. Richard Baron de l'IDDRI et Jean-Eudes Moncomble de l'IFE.

1. L'impact de la limitation des émissions de CO₂ sur la compétitivité est-il comparable à celui des variations de taux de change ?

En cette fin d'année 2003, le thème de l'impact des politiques climatiques sur la compétitivité européenne a ressurgi avec force. Suite à certaines annonces amenant à douter de la ratification du Protocole de Kyoto par la Russie, donc de l'entrée en vigueur de l'accord, certains Etats membres comme l'Espagne et l'Italie souhaitent remettre en cause l'engagement européen de respecter Kyoto même si cet accord n'entre pas en vigueur². Selon ces Etats membres, en effet, l'Europe va souffrir d'un déficit de compétitivité vis-à-vis du reste du monde si elle applique le Protocole de Kyoto unilatéralement, sans que les autres pays développés en fassent autant.

Pour tester la plausibilité de cette crainte, nous calculons, pour douze secteurs de l'industrie européenne³, la perte de chiffre d'affaire résultant d'un surcoût de 20 euros par tonne de CO₂, selon différentes variantes. Il s'agit principalement d'identifier les secteurs les plus sensibles

¹ Nous étudierons le cas du ciment dans le courant de l'année 2004.

² *Environment Daily* 1574, 15/12/03 "Competitiveness test set for EU climate policy".

³ Ces secteurs couvrent l'essentiel de l'industrie manufacturière (94 % du chiffre d'affaire) ainsi que la production d'électricité, d'eau et de gaz, secteur non classé dans l'industrie manufacturière mais dont l'intensité en CO₂ justifie l'inclusion dans cette étude.

aux problèmes de compétitivité et comparer cette perte de chiffre d'affaire à celle résultant d'un autre "choc asymétrique" : une hausse de l'euro et des autres monnaies de l'UE 15 par rapport à l'ensemble des autres devises. La simulation porte sur l'année 2001.

Dans les secteurs industriels, la politique climatique communautaire repose principalement sur la directive 2003/87/EC, dite directive "quotas", adoptée le 13 octobre 2003, qui va créer un marché de quotas échangeables d'émission de gaz à effet de serre dans la Communauté européenne. Aussi, nous prendrons cette directive comme base pour discuter l'impact d'une politique climatique unilatérale européenne.

1.1. Sources de données

Les données d'émission proviennent de la base de données de l'Agence internationale de l'énergie, "Emissions de CO2 dues à la combustion d'énergie", sur CD-ROM, édition 2003. Nous avons retenu les sources de gaz à effet de serre les plus proches possibles de celles couvertes par la directive "quotas". Ainsi, les émissions de process de la chimie ne sont pas prises en compte, mais celles de la sidérurgie et des minéraux non métalliques le sont⁴. De même, conformément à la directive, les émissions des autres gaz que le CO2 ne sont pas prises en compte. En revanche, contrairement à la directive, nous n'avons pu exclure les installations de combustion inférieures à 20 MW, faute de données sur ce point.

Dernier point qui mérite d'être évoqué concernant les émissions, il existe une ambiguïté dans la couverture sectorielle de la directive : selon l'interprétation de certains Etats membres comme la Belgique, toutes les installations de combustion supérieures à 20 MW doivent être couvertes, même celles situées dans des secteurs non listés dans l'annexe I de la directive comme la chimie ou les métaux non ferreux (on parle d'interprétation "large" de la directive). Selon d'autres Etats membres comme la France, ces installations ne doivent pas être couvertes (interprétation "étroite"). Dans ce document, nous retenons l'interprétation large. Pour les émissions totales de CO2 dans l'économie, nous avons retenu l'approche sectorielle et non l'approche de référence, par souci de cohérence avec les données sectorielles que nous utilisons.

Le chiffre d'affaire et la masse salariale par secteur proviennent de la base STAN de l'OCDE⁵. Pour les trois pays de l'Union situés hors de la zone euro, les données ont été converties en euros selon les taux de change 2001 fournis par l'OCDE. Certains pays ne séparent pas les métaux ferreux des métaux non ferreux ; pour ces pays, nous avons supposé que la répartition entre ces deux secteurs était la même que dans les pays qui fournissent ces informations.

Les importations et exportations proviennent de la base BTM (*bilateral trade database*) de l'OCDE. Pour chaque Etat membre, nous avons retranché les importations et exportations du/vers l'UE 15 des importations et exportations du/vers le monde entier, afin d'obtenir le commerce international extracommunautaire. Les données de la base BTM, exprimées en dollars US, ont été converties en euros selon les taux de change 2001 fournis par l'OCDE.

⁴ Les émissions de process de la sidérurgie (réduction du minerai de fer) sont incluses dans les données de l'AIE. Celles des minéraux ne le sont pas ; ces émissions étant à peu près égales à celles de la combustion d'énergie dans ce secteur (Hendriks et al., 2000), nous avons multiplié par deux les chiffres de l'AIE.

⁵ Nous remercions Colin Webb, responsable de la base de données STAN, pour nous avoir fourni une version provisoire de la base STAN pour l'Irlande, ainsi qu'Agnès Cimper pour nous avoir fourni la base BTM.

1.2. Exposition au commerce extracommunautaire et intensité en CO2

L'argument selon lequel les secteurs fortement émetteurs de gaz à effet de serre seraient particulièrement exposés à la concurrence internationale revient fréquemment dans le débat public. Pourtant, il n'a que rarement fait l'objet de vérifications empiriques. Au contraire, dans l'étude de Fouquin et al. (2001), tous les secteurs intensifs en énergie apparaissent moins exposés que la moyenne de l'industrie européenne à une baisse du dollar. Cependant, cette dernière étude se base sur une année un peu ancienne (1996) et surtout prend en compte l'exposition aux seules variations de devises, non aux politiques environnementales unilatérales. Certaines devises étant empiriquement liées à l'euro, cette étude ne prend pas en compte la perte de compétitivité vis-à-vis des pays qui utilisent ces devises.

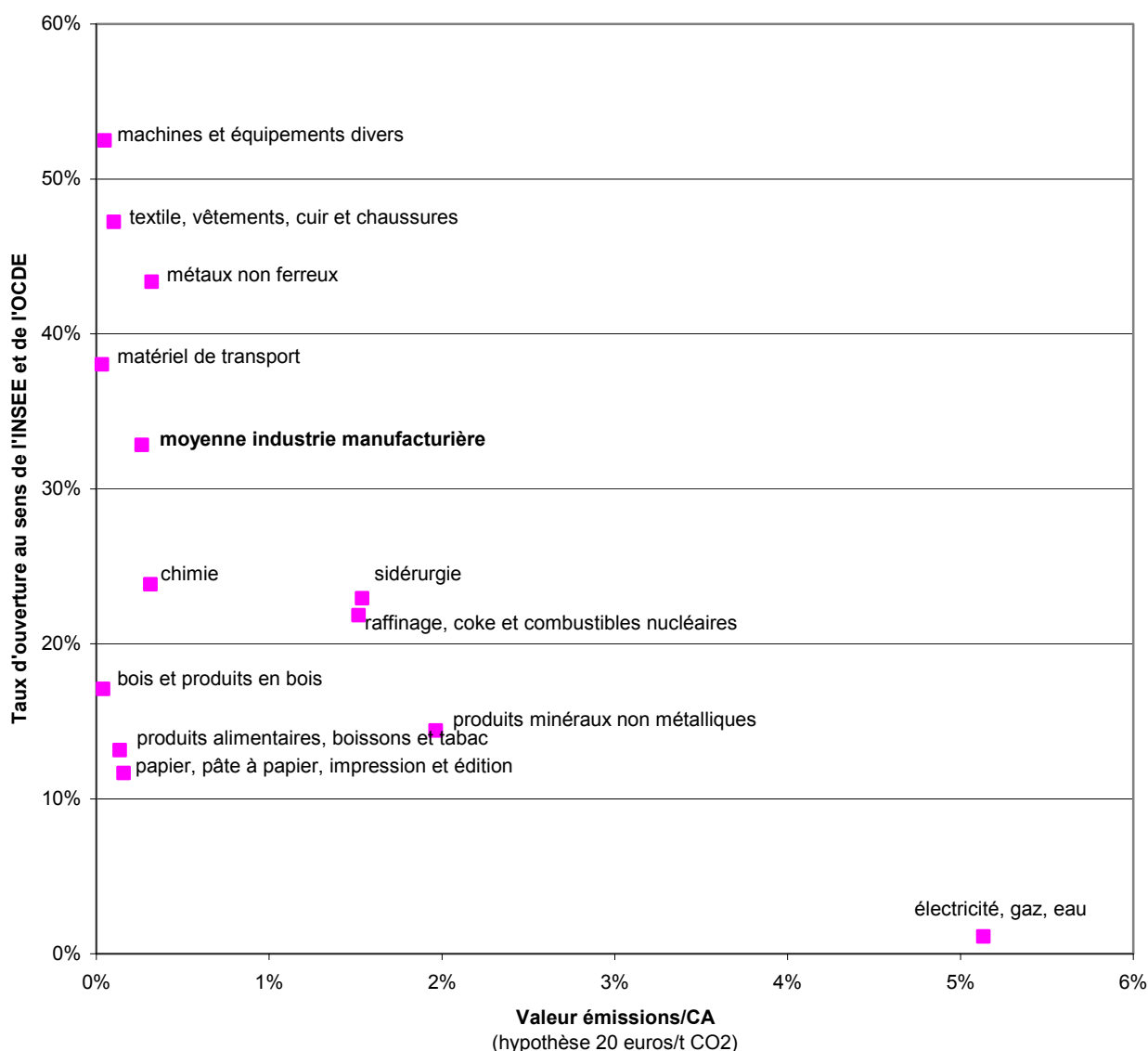
Afin d'éclairer cette question, nous avons calculé pour chaque secteur le taux d'ouverture utilisé par l'INSEE et l'OCDE⁶ (Coppel et Durand, 1999), ainsi que le ratio émissions/CA. Le graphique 1 ci-dessous présente les résultats. Il apparaît que parmi les secteurs plus ouverts que la moyenne de l'industrie manufacturière, un seul, celui des métaux non ferreux, est plus intensif en CO2 que cette moyenne, et encore très légèrement⁷. Les autres secteurs plus intensifs en CO2 que la moyenne (électricité, gaz et eau ; produits minéraux non métalliques ; sidérurgie ; raffinage, coke et combustibles nucléaires ; chimie) sont moins ouverts au commerce extracommunautaire que la moyenne de l'industrie manufacturière européenne.

⁶ Cet indicateur est défini comme suit : $X/Q+(1-X/Q)*M/D$, où X représente les exportations, Q la production, M les importations et D la demande intérieure finale. Le premier terme de l'addition prend en compte la concurrence internationale sur les marchés d'exportation et le second la concurrence des importations sur le marché domestique.

⁷ Cependant, si les émissions des autres gaz à effet de serre que le CO2 étaient incluses, ainsi que celles entraînées par la production d'électricité et de chaleur achetée à des producteurs publics, le ratio émissions/CA serait sensiblement plus élevé dans ce secteur.

Graphique 1. Ouverture au commerce extracommunautaire et intensité en CO2

Données pour l'UE 15 en 2001, sources : OCDE (STAN et BTD), AIE (émissions de CO2)



1.3. Vente aux enchères de quotas (ou taxe) sans recyclage des recettes

Dans cette première simulation, nous supposons que les quotas sont vendus aux enchères, que le prix du quota s'établit à 20 euros par tonne de CO2 et que les recettes de la vente des quotas ne sont pas utilisées par les pouvoirs publics pour diminuer des prélèvements supportés par les entreprises. Le prix des quotas étant supposé connu et le marché des quotas parfaitement concurrentiel, cet exercice est équivalent à la simulation d'une taxe du même montant dont les recettes seraient utilisées de la même manière. Nous avons choisi 20 euros car il s'agit de la valeur de référence du Programme européen contre le changement climatique. Il s'agit d'une hypothèse haute, les valeurs du marché étant inférieures. Nous supposons également que les firmes européennes répercutent à 100 % dans leur prix de vente le surcoût constitué par l'achat des quotas ou le paiement de la taxe. Cette hypothèse est pessimiste dans le sens où

elle maximise les pertes de production ; comme la précédente, elle nous permet ainsi de borner supérieurement l'impact sur la production.

La perte de production est alors d'autant plus forte, dans chaque secteur, que les quatre éléments suivants sont élevés :

1. le coût des réductions des émissions de CO₂ ;
2. l'intensité en CO₂ ;
3. le taux d'ouverture ;
4. les élasticités-prix des importations et des exportations, c'est-à-dire le pourcentage d'augmentation des importations et de baisse des exportations suite à une augmentation du prix de 1 % de la part des producteurs nationaux.

Dans cette section, nous considérons que le coût des réductions des émissions de CO₂ est infini, ce qui permet, là encore, de borner supérieurement l'impact sur la compétitivité. Nous levons cette hypothèse dans la section 1.5. Les éléments 2 et 3 sont des grandeurs comptables, décrites ci-dessus. Au contraire, le quatrième groupe d'éléments doit faire l'objet d'estimations économétriques ou de dires d'experts. Comme nous allons le voir, des estimations divergentes sont utilisées. Nous avons donc utilisé trois groupes d'élasticités-prix des importations et des exportations : celles retenues par le modèle GTAP, celles obtenues par Fouquin et al. (2001) et celles obtenues par Erkell-Rousse et Mirza (2002). Le tableau 1 ci-dessous récapitule ces valeurs.

Le modèle GTAP (GTAP team, 2002) est le plus connu parmi ceux utilisés pour l'étude du commerce international. Il sert de base à de nombreux autres modèles, comme Mirage au CEPII ou WorldScan au Bureau du plan néerlandais et au RIVM. Il a en outre l'avantage de distinguer chacun des secteurs étudiés ici.

Les élasticités du modèle GTAP sont tirées de celles du modèle SALTER (Jomini et al., 1991), ce que les auteurs de GTAP justifient comme suit :

"The SALTER settings represent a compromise between econometric evidence and prior belief. A search of the econometric literature indicated that these elasticities are relatively low. On prior belief, it is generally believed that the terms of trade effects imply that the source substitution elasticities are relatively high. The SALTER settings adopted here, thus, represent a compromise: the elasticities are generally higher than that indicated by the econometric literature, but still low enough to generate significant terms of trade effects." (GTAP team, 2002, 20.1)

Autrement dit, les créateurs de SALTER et de GTAP ont considéré que les élasticités tirées des études économétriques (autour de -1) étaient probablement sous-estimées (en valeur absolue). Au contraire, les deux autres groupes d'élasticités que nous utilisons se basent uniquement sur des études économétriques :

- Fouquin et al. (2001) utilisent des méthodes économétriques classiques et estiment séparément les élasticités-prix des exportations et celles des importations. Ils aboutissent à des résultats conformes au reste de cette littérature, soit environ -1 dans la plupart des cas ;
- Erkel-Rousse et Mirza (2002) utilisent des méthodes économétriques plus sophistiquées. Ils recourent en particulier à des variables instrumentales qui aboutissent, pour une partie des secteurs, à des estimations plus élevées que celles obtenues par les méthodes traditionnelles. Ils justifient ce choix par des liens endogènes entre prix et volumes d'exportations et d'importations, qui peuvent biaiser les estimations à la baisse. Ainsi, une amélioration de la qualité d'un produit va typiquement entraîner à la fois une hausse du prix et du volume

exporté du produit en question, d'où une sous-estimation des élasticités-prix avec les méthodes traditionnelles. Cependant, les auteurs soulignent que les valeurs qu'ils obtiennent sont très dépendantes des variables instrumentales choisies. Pour chaque secteur, ils présentent les résultats obtenus par quatre méthodes différentes. Nous avons retenu les valeurs les plus élevées qui soient statistiquement significatives au seuil de 1 %.

Tableau 1. Élasticités-prix des importations et des exportations utilisées dans cette étude

Secteur ↓	Source ⇒	Modèle GTAP	Fouquin et al. (2001) importations	Fouquin et al. (2001) exportations	Erkell-Rousse et Mirza (2002)
produits alimentaires, boisson, tabac		2,2	1,01	0,24	1,2
textiles, vêtements, cuir, chaussures		2,2	0,46	-0,29	5,6
bois et produits en bois		2,8	0,42	0,00	6,4
papier, pâte, impression, édition		1,8	1,05	0,40	1,5
raffinage, coke et combustibles nucléaires		2,8	4,37	3,86	***
chimie, incluant pharmacie		1,9	0,79	0,55	4,8
produits minéraux non métalliques		2,8	0,85	0,77	8,3
sidérurgie		2,8	0,55*	0,35*	3,3
métaux non ferreux		2,8	0,55*	0,35*	1,5
machines et équipements divers		2,8	1,07**	0,65**	2,5
matériel de transport		5,2	0,68	2,45	7,5
électricité, gaz et eau		2,8	***	***	***

* Cette étude ne distinguant pas les métaux ferreux des non ferreux, nous avons repris la même élasticité dans les deux cas.

** Cette étude distinguant deux sous-secteurs, nous avons calculé la moyenne pondérée par la part dans les importations (respectivement les exportations).

*** Ces secteurs n'ont pas été estimés par les auteurs. Dans les simulations, lorsque nous fournissons des résultats pour l'ensemble des secteurs couverts, nous utilisons alors les élasticités du modèle GTAP.

Les résultats de cette simulation sont reproduits dans le tableau 2 ci-dessous. Nous avons imprimé en gras les impacts supérieurs à 0,5 % du CA.

Tableau 2. Baisse du CA en % suite à une taxe ou des quotas vendus aux enchères à 20 euros par tonne de CO2, pas de recyclage des recettes

Source des élasticités⇒ Secteur ↓	Modèle GTAP	Fouquin et al. (2001)	Erkell-Rousse et Mirza (2002)
produits alimentaires	-0,04%	-0,01%	-0,02%
textiles	-0,13%	-0,01%	-0,34%
bois	-0,02%	-0,00%	-0,05%
papier	-0,03%	-0,01%	-0,03%
combustibles	-0,99%	-1,45%	
chimie	-0,15%	-0,05%	-0,37%
minéraux non métalliques	-0,81%	-0,23%	-2,38%
sidérurgie	-1,03%	-0,16%	-1,20%
métaux non ferreux	-0,49%	-0,09%	-0,26%
machines et équipements divers	-0,08%	-0,03%	-0,08%
matériel de transport	-0,07%	-0,02%	-0,10%
électricité, gaz et eau	-0,16%		
ensemble de ces secteurs	-0,19%	-0,10%	-0,30%

Comme on pouvait s'y attendre, l'effet est négligeable (inférieur à 0,5% du CA dans tous les cas) dans tous les secteurs généralement considérés comme peu intensifs en énergie. De manière plus surprenante, tel est également le cas de certains secteurs généralement considérés comme intensifs en énergie, et ce pour différentes raisons :

- dans le cas du secteur papier, pâtes, édition et impression, c'est probablement dû à ce que les étapes amont (fabrication de la pâte et du papier), relativement intensives en énergie, sont en quelque sorte noyées dans les étapes aval (édition et impression). Il en est de même dans la chimie, où la chimie de base voisine avec la chimie de spécialités et la pharmacie ;
- pour le secteur électricité, gaz et eau, la faible ouverture internationale domine la forte intensité en CO2 ;
- dans les métaux non ferreux, au contraire, les faibles émissions directes de CO2 dominent la relativement forte ouverture internationale.

Les pertes de CA ne dépassent 0,5 % que dans trois secteurs :

- les combustibles (raffinage de pétrole, coke et combustibles nucléaires) ;
- la sidérurgie ;
- les minéraux non métalliques.

La sidérurgie ayant fait l'objet d'une étude particulière, présentée dans le second rapport intermédiaire, nous étudions ici de plus près le secteur du raffinage de pétrole. Nous étudierons le cas du ciment dans le courant de l'année 2004, dans le cadre d'un travail pour l'OCDE.

Pour mettre ces résultats en perspective, nous allons maintenant les comparer à l'impact d'une hausse de 10 % de l'euro et des trois autres monnaies de l'UE 15 vis-à-vis de l'ensemble des autres devises. Cette hausse est ici considérée comme pérenne⁸. Nous ne présentons dans ce document les résultats que pour les élasticités provenant du modèle GTAP, car les impacts calculés avec les autres élasticités apportent peu d'autres informations, l'écart pour chaque secteur restant le même. Les résultats présentés ici surestiment un peu l'impact d'une hausse de l'euro car ils ne prennent pas en compte la baisse du coût des consommations intermédiaires importées. Selon Campa et Gonzáles Mínguez (2002), une hausse de 10 % de l'euro entraîne une baisse de 1,2 % du coût des consommations intermédiaires en moyenne dans la zone euro. Pour la plupart des secteurs, prendre en compte ce facteur ne changerait donc pas fondamentalement les résultats. En revanche, l'impact de la hausse des devises européennes serait sensiblement atténué pour les secteurs fortement importateurs de combustibles fossiles, comme le raffinage ; nous revenons sur ce point au chapitre 2.

Tableau 3. Baisse du CA suite à un prix du CO2 de 20 euros par tonne de CO2 sans recyclage des recettes, et suite à une hausse pérenne de 10 % de l'euro

élasticités modèle GTAP	20 euros/t CO2 sans recyclage (1)	10% hausse devises UE 15 (2)	(1) / (2)
produits alimentaires	-0,04%	-3,0%	1,4%
textiles	-0,13%	-13,0%	1,0%
bois	-0,02%	-5,1%	0,4%
papier	-0,03%	-2,1%	1,6%
combustibles	-0,99%	-6,5%	15,2%
chimie	-0,15%	-4,7%	3,1%
minéraux non métalliques	-0,81%	-4,1%	19,7%
sidérurgie	-1,03%	-6,7%	15,4%
métaux non ferreux	-0,49%	-15,4%	3,2%
machines et équipements divers	-0,08%	-17,4%	0,5%
matériel de transport	-0,07%	-21,4%	0,3%
électricité, gaz et eau	-0,16%	-0,3%	51,3%
ensemble de ces secteurs	-0,19%	-9,6%	1,9%

On voit que pour tous les secteurs, une hausse de 10 % de l'euro, pourtant très inférieure à celle en cours depuis mi-2001, entraîne une baisse de CA bien supérieure à la politique climatique : hormis pour électricité, gaz et eau, un secteur de toute manière peu exposé, l'impact de la politique climatique testée n'atteint que 20 % au maximum de l'impact de la hausse des devises européennes.

⁸ Autrement dit, implicitement, dans cette simulation, les industriels considèrent que la hausse de l'euro, comme la politique environnementale unilatérale, sont définitives et non temporaires. Dans la section 1.6, nous discutons ces hypothèses.

1.4. Recyclage des recettes par baisse des cotisations sociales employeurs

Dans cette section, nous calculons l'impact sur le chiffre d'affaire d'un scénario où les recettes de la vente des quotas (ou de la taxe) sont utilisées par les pouvoirs publics pour réduire les cotisations sociales employeurs. Nous supposons que la politique environnementale couvre également les émissions de CO2 dues à la combustion d'énergie dans le reste de l'économie, y compris chez les ménages, et que les recettes sont redistribuées à toutes les entreprises, au prorata de leur masse salariale. Les résultats sont présentés dans le tableau 4 ci-dessous, où les chiffres supérieurs à 0,5 % en valeur absolue sont imprimés en gras, tout comme les résultats pour l'ensemble des secteurs.

Tableau 4. Baisse du CA en %, comparaison entre absence de recyclage des recettes et recyclage par baisse des cotisations sociales

Source des élasticités⇒ ⇓ Secteur	modèle GTAP		Fouquin et al. (1999)		Erkell-Rousse et Mirza (2002)	
	non	baisse des CS	non	baisse des CS	Non	baisse des CS
produits alimentaires	-0,04%	0,04%	-0,01%	0,01%	-0,02%	0,02%
textiles	-0,13%	0,37%	-0,01%	0,03%	-0,34%	0,95%
bois	-0,02%	0,18%	0,00%	0,02%	-0,05%	0,41%
papier	-0,03%	0,05%	-0,01%	0,02%	-0,03%	0,04%
combustibles	-0,99%	-0,91%	-1,45%	-1,34%		
chimie	-0,15%	-0,03%	-0,05%	-0,01%	-0,37%	-0,09%
minéraux non métalliques	-0,81%	-0,66%	-0,23%	-0,19%	-2,38%	-1,94%
sidérurgie	-1,03%	-0,84%	-0,16%	-0,13%	-1,20%	-0,98%
métaux non ferreux	-0,49%	-0,17%	-0,09%	-0,03%	-0,26%	-0,09%
machines et équipements divers	-0,08%	0,48%	-0,03%	0,15%	-0,08%	0,43%
matériel de transport	-0,07%	0,41%	-0,02%	0,13%	-0,10%	0,59%
électricité, gaz et eau	-0,16%	-0,15%				
ensemble de ces secteurs	-0,19%	0,08%	-0,10%	-0,02%	-0,30%	0,07%

Les secteurs plus intensifs en CO2 que la moyenne (cf. graphique 1 ci-dessus) restent perdants, mais l'impact sur le CA diminue, parfois significativement (de 5 % dans l'électricité, de 8 % dans les combustibles, de 19 % dans les minéraux et la sidérurgie, de 66 % dans les métaux non ferreux et de 80 % dans la chimie). Les autres secteurs deviennent des gagnants,

en terme d'impact sur le chiffre d'affaires. Avec les élasticités d'Erkell-Rousse et Mirza, le gain dépasse même 0,5 % du CA dans le secteur matériel de transport et approche 1 % dans le textile.

De plus, pour deux groupes d'élasticités (celles du modèle GTAP et celles d'Erkell-Rousse et Mirza), l'ensemble des secteurs considérés ici voit son chiffre d'affaires progresser, quoique légèrement : +0,07 à 0,08 %. Avec les élasticités de Fouquin et al., il ne baisse que de 0,02 %. Autrement dit, la réforme fiscale écologique associant taxation ou vente de quotas de CO₂ et baisse des cotisations sociales employeurs améliore la compétitivité globale de l'industrie de l'UE 15, si tant est que cette expression ait un sens⁹. Ce résultat positif s'explique par le fait déjà mis en avant à la section 1.2 : les secteurs intensifs en CO₂ sont moins exposés à la concurrence extracommunautaire que la moyenne de l'industrie. Du coup, les gains de CA des secteurs dont le ratio masse salariale / CO₂ est supérieur à la moyenne (produits alimentaires, textiles, bois, papier, machines et équipements divers, matériel de transport) font plus que compenser les pertes des autres secteurs. Ceci reste vrai bien que, dans nos simulations, une partie de la baisse des cotisations sociales bénéficie au secteur des services, moins exposé à la concurrence internationale que l'industrie.

Le recyclage des recettes d'une taxe ou de quotas vendus aux enchères permet donc de compenser l'impact négatif direct sur la position compétitive moyenne de l'Union européenne. On peut donc regretter que la directive "quotas" limite cette vente aux enchères à 5 % des quotas maximum entre 2005 et 2007, puis à 10 % maximum entre 2008 et 2012.

1.5. Prise en compte des réductions d'émission

Jusqu'à présent, nous avons négligé les possibilités de réduction des émissions suite à l'introduction de la politique environnementale. Pourtant, de telles possibilités existent – ce sont d'ailleurs elles qui justifient la mise en place de ces politiques. Dans cette section, nous intégrons les réductions telles que simulées par le modèle Primes de la Commission européenne (Blok et al., 2001, p. 6). Plus précisément, nous calculons le pourcentage de réductions d'émissions simulées par Primes pour un prix de 20 euros par tonne de CO₂ par rapport au scénario de référence de Primes en 2010, et nous appliquons ce pourcentage de réduction aux émissions européennes en 2001¹⁰. Les résultats sont présentés dans le tableau 5 ci-dessous.

⁹ En effet, au niveau macroéconomique, la compétitivité est une notion extrêmement difficile à saisir, au point que Paul Krugman (1994) a pu écrire qu'elle n'a aucun sens et constitue une "dangereuse obsession", pour reprendre le titre d'un de ses articles.

¹⁰ Nous n'utilisons donc pas le scénario de référence de Primes en 2010, car, par cohérence, il aurait fallu projeter également les grandeurs macro-sectorielles (CA, importations, exportations, masse salariale). Ce scénario de référence présente des écarts très importants, pour certains secteurs, avec les chiffres d'émission que nous avons utilisés jusqu'à présent, ce qui s'explique au moins en partie par une répartition des émissions entre les secteurs différente de celle de la base de données de l'AIE.

Tableau 5. Baisse du CA en %, avec et sans prise en compte des réductions d'émission

Source des élasticités⇒ ↓ Réductions d'émissions ?⇒ ↓ Secteur	modèle GTAP		Fouquin et al. (1999)		Erkell-Rousse et Mirza (2002)	
	non	oui	non	oui	Non	oui
produits alimentaires	0,04%	0,03%	0,01%	0,01%	0,02%	0,02%
textiles	0,37%	0,33%	0,03%	0,03%	0,95%	0,84%
bois	0,18%	0,16%	0,02%	0,02%	0,41%	0,37%
papier	0,05%	0,05%	0,02%	0,02%	0,04%	0,04%
combustibles	-0,91%	-0,86%	-1,34%	-1,26%		
chimie	-0,03%	-0,03%	-0,01%	-0,01%	-0,09%	-0,08%
minéraux non métalliques	-0,66%	-0,64%	-0,19%	-0,18%	-1,94%	-1,90%
sidérurgie	-0,84%	-0,74%	-0,13%	-0,11%	-0,98%	-0,86%
métaux non ferreux	-0,17%	-0,16%	-0,03%	-0,03%	-0,09%	-0,09%
machines et équipements divers	0,48%	0,43%	0,15%	0,13%	0,43%	0,38%
matériel de transport	0,41%	0,37%	0,13%	0,12%	0,59%	0,53%
électricité, gaz et eau	-0,15%	-0,13%				
ensemble de ces secteurs	0,08%	0,06%	-0,02%	-0,02%	0,07%	0,06%

Il s'avère que par rapport à la simulation précédente, tous les impacts, positifs comme négatifs, sont réduits. Cela s'explique facilement. D'une part, naturellement, le montant de taxe versé ou de quotas achetés par unité de produit est réduit dans les secteurs intensifs en énergie, ce qui atténue l'impact négatif dans ces secteurs. D'autre part, comme les recettes publiques globales tirées de la taxe ou des ventes de quotas diminuent (d'environ 10 % en l'occurrence), la baisse des cotisations sociales est réduite d'autant, ainsi, par conséquent, que l'impact positif sur le chiffre d'affaire dans les secteurs plus intensifs en travail qu'en énergie.

1.6. Pérennité comparée des variations de change et des politiques environnementales asymétriques

A la section 1.3 et en particulier dans le tableau 3, nous avons comparé l'impact d'une politique climatique à celui d'une hausse des taux de change. Ce type de comparaison suscite fréquemment la critique suivante : les variations de taux de change seraient volatiles alors que les politiques environnementales seraient permanentes. Autrement dit, les entreprises délocaliseraient peu leurs activités suite à une hausse de l'euro, en pensant que cette hausse

n'est que transitoire, alors qu'elles délocaliseraient davantage suite à une politique environnementale unilatérale si elle considèrent que cette asymétrie est durable.

Cet argument souffre de trois faiblesses.

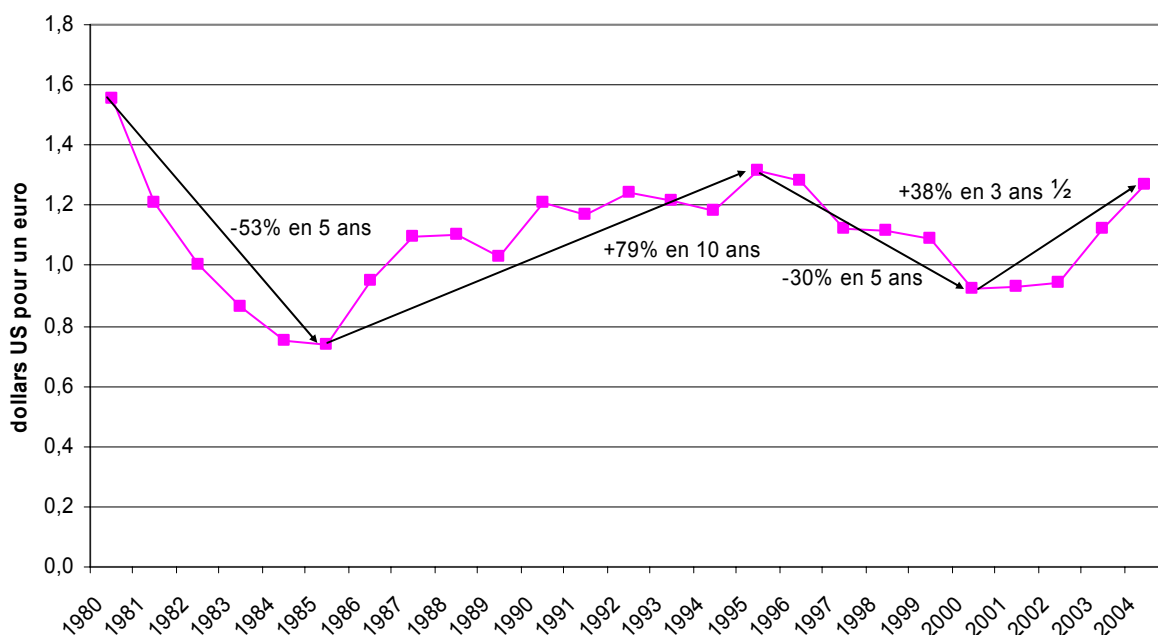
Tout d'abord, il suppose que les entreprises anticipent que si une devise s'apprécie, elle va baisser, plutôt que monter encore, à l'avenir. Pourtant, ce n'est pas parce qu'une devise (ou tout autre actif financier) a monté sur une période donnée que pour autant la probabilité que cette devise baisse à l'avenir augmente. Plus généralement, l'histoire d'un actif financier n'apprend rien sur sa valeur future. Dans le cas contraire, il serait facile de gagner sur les marchés financiers : il suffirait de vendre à terme les devises en cours d'appréciation. Le point de départ de l'analyse moderne des produits dérivés, qui a valu le prix Nobel 1997 à Robert C. Merton et Myron S. Scholes, est justement que les valeurs passées des actifs financiers ne permettent pas de prévoir leur valeur future, seulement leur volatilité.

Ensuite, historiquement, les rythmes de fluctuations des devises ne sont pas sensiblement plus courts que ceux des cycles politiques. Comme le montre le graphique 2 ci-dessous, le taux de change euro/dollar suit des cycles de cinq à dix ans. Or, il semble bien présomptueux de prévoir les politiques environnementales nationales à un tel terme. Dans cinq ans, quoi qu'il arrive, George W. Bush ne sera plus président des Etats-Unis. S'il semble extrêmement improbable que les Etats-Unis ratifient le Protocole de Kyoto d'ici là, il est tout à fait possible qu'une politique fédérale d'un degré d'ambition comparable à la directive européenne "quotas" soit adoptée d'ici là. Ainsi, en novembre 2003, la proposition de loi des sénateurs McCain et Lieberman, visant à créer un système de quotas négociables de CO₂, n'a été rejetée que par une marge relativement faible de 43 voix contre 55. Selon plusieurs observateurs, ceci constitue une bonne performance pour un texte que le gouvernement avait appelé à rejeter, et lui confère une chance significative d'être adopté à l'avenir.

Enfin, s'il est possible que Kyoto n'entre pas en vigueur et que l'Union européenne mène une politique unilatérale, il est peu plausible que cette politique reste durablement unilatérale. Il est probable qu'après 2012, ou bien une politique multilatérale émergera, ou bien toutes les politiques climatiques, y compris européennes, connaîtront un coup d'arrêt.

Pour ces trois raisons, la comparaison de l'impact d'une politique climatique unilatérale avec celle d'une variation des taux de change ne semble pas invalidée par l'argument de la volatilité des taux de change.

Graphique 2. Change franc/dollar puis euro/dollar
 1980-2003 : moyenne annuelle, source OCDE. 2004 : taux du 7 janvier, source : FMI



1.7. Conclusion

A la lumière de la présente analyse, la compétitivité de l'industrie européenne semble peu menacée par la mise en œuvre de politiques climatiques même unilatérales, en tout cas si ces politiques entraînent un prix du CO₂ de l'ordre de celui prévu par le Programme européen contre le changement climatique (20 euros par tonne de CO₂). Même en prenant les hypothèses les plus pessimistes en matière d'élasticités-prix des importations et des exportations, en négligeant toute possibilité de réduction des émissions et en supposant une vente des quotas sans recyclage des recettes, les pertes de chiffre d'affaire des producteurs européens ne dépassent 0,5 % que dans trois secteurs : les combustibles, les minéraux non métalliques et la sidérurgie. Prendre en compte les possibilités techniques de réduction des émissions et le recyclage des recettes par baisse des cotisations sociales patronales permet de réduire significativement ces impacts, qui deviennent inférieurs à 2 % du chiffre d'affaire dans tous les secteurs, toujours avec les hypothèses les plus pessimistes en matière d'élasticités-prix.

De plus, certaines de nos hypothèses nous amènent à surestimer les impacts sur le chiffre d'affaire des secteurs intensifs en CO₂ :

- nous postulons un prix de 20 euros par tonne de CO₂ car il s'agit du prix de référence du Programme européen contre le changement climatique, mais ce prix est plus élevé que les anticipations sur le marché européen des quotas (environ 10 euros/t CO₂), ainsi que le prix des projets qui préfigurent le MDP et la MOC (environ 5 euros) ;
- nous incluons les installations de combustion inférieures à 20 MW alors qu'elles ne sont pas couvertes par la directive européenne "quotas" ;
- nous supposons que cette directive ne couvre que l'UE 15, alors qu'elle couvrira au moins l'UE 25 et peut-être Norvège, la Roumanie et la Bulgarie ;

- nous supposons l'absence de toute politique climatique dans le reste du monde, or le Japon, la Nouvelle-Zélande, la Suisse et le Canada devront adopter des politiques au moins aussi ambitieuses que l'Europe pour respecter leur objectif au titre du Protocole de Kyoto.

Inversement, certaines de nos hypothèses sous-estiment la baisse de CA des industries intensives en énergie :

- nous supposons que la consommation des produits intensifs en CO₂ et en énergie ne baisse pas, malgré la hausse des prix de ces produits, qui n'a d'impact que sur la répartition du marché entre producteurs de l'UE et des pays tiers ;
- nous négligeons les répercussions *input-output*, par exemple la répercussion de la hausse du prix de l'électricité sur les coûts du secteur métaux non ferreux ;

Il est difficile de savoir si les facteurs de surestimation des impacts dominant ou non les facteurs de sous-estimation ; en tout cas, nos estimations ne sont pas biaisées systématiquement dans un sens ou dans l'autre.

Par ailleurs, l'impact d'une hausse des taux de change est un peu surestimé car on ne prend pas en compte la baisse du coût des importations de consommation intermédiaire suite à la hausse des devises européennes. Cependant, nous verrons au chapitre suivant que même dans le secteur où ce phénomène joue le plus, celui du raffinage de pétrole, une hausse de 10 % des devises européennes domine l'établissement d'un prix du CO₂ à 20 euros par tonne.

Enfin, il ne s'agit là que d'impacts sectoriels, avant le jeu des rétroactions macroéconomiques que l'on trouve dans les modèles d'équilibre général. Ainsi, la politique climatique peut entraîner une distorsion des prix relatifs et donc une hausse de l'indice des prix à la consommation transmise dans les salaires, d'où (éventuellement) une baisse de l'emploi. De même, une perte de compétitivité vis-à-vis des concurrents étrangers peut s'auto-compenser par divers canaux, dont une baisse de la devise nationale. Cependant, dès lors que l'on prend ces rétroactions macroéconomiques, la notion même de compétitivité globale d'une économie perd son sens, comme l'a montré Krugman (1994). Aussi, c'est bien par des calculs sectoriels tels que ceux menés ici que l'on peut appréhender la notion de perte de compétitivité qui peut découler des politiques climatiques.

2. L'impact du futur marché de quotas d'émission de gaz à effet de serre sur la compétitivité de l'industrie européenne du raffinage de pétrole

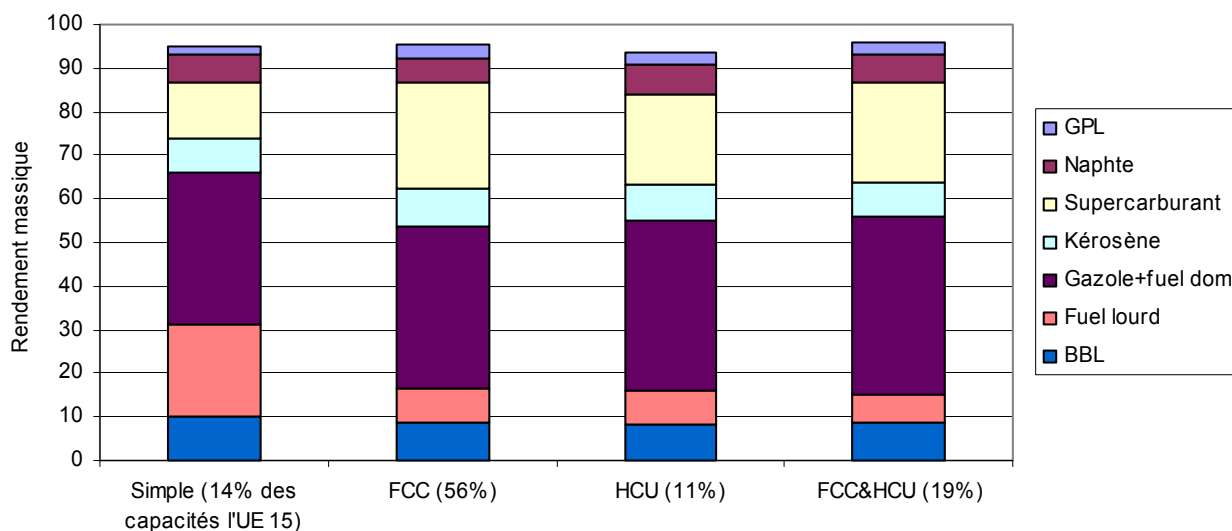
Ce deuxième chapitre vise à évaluer l'effet de la mise en œuvre de la directive "quotas" (2003/87/EC) sur la compétitivité du raffinage dans l'Europe des quinze à l'horizon 2010. Nous évaluons l'effet de cette directive, et en particulier de différents modes d'allocation de quotas, sur les émissions de CO₂, la production et la profitabilité du raffinage en Europe. Nous proposons de multiples variantes afin de tester la robustesse des différents résultats aux principales sources d'incertitude. Deux raisons expliquent ce choix du raffinage de pétrole. Premièrement, sur la base d'une analyse comptable, il s'agit de l'un des secteurs les plus sensibles à une perte de chiffre d'affaire, comme l'a montré le premier chapitre du présent rapport. Deuxièmement, ce secteur est mal connu, puisque nous n'avons pas trouvé d'étude spécifique à ce secteur dans la littérature sur l'effet des politiques climatiques, et qu'il est rarement identifié dans les modèles multi-sectoriels.

2.1. Le modèle et le scénario de référence

Modéliser le secteur du raffinage de pétrole est rendu difficile par l'existence de nombreux coproduits et de différentes configurations de raffineries. Nous construisons un modèle d'équilibre partiel du secteur du raffinage de pétrole de l'Europe des quinze à l'horizon 2010. Ce modèle comporte quatre types de raffineries : simple, craquage catalytique fluide (FCC), hydrocraquage (HCU), complexe (FCC+HFU) ; et sept produits raffinés : gaz de pétrole liquéfié (GPL), naphte, supercarburant, kérosène, gazole, fuel lourd et BBL, qui regroupe divers produits lourds (bitumes, fuel pour soutes de navires et huiles).

Le scénario de référence est repris d'une étude de l'association professionnelle Concawe (1999) qui porte sur le coût, pour l'industrie européenne du raffinage, des changements dans les spécifications du gazole et de l'essence. Le graphique 3 ci-dessous indique la répartition des quatre configurations dans ce scénario, et la répartition de la production de chaque configuration entre nos sept coproduits. 619 millions de tonnes de brut par an sont traitées dans ce scénario.

Graphique 3. Part et production des 4 configurations de raffineries dans le scénario de référence



Historiquement, les raffineries simples ont progressivement régressé du fait de la réduction de

la demande de fuel lourd. Elles ont été remplacées par les raffineries à craquage catalytique fluide (FCC), qui produisent moins de fuel lourd et beaucoup d'essence ou de supercarburant. Plus récemment, la diésélisation progressive du parc automobile européen pénalise ces raffineries par rapport aux deux autres configurations que sont celle à hydrocraquage (HCU), et la configuration complexe (FCC+HFU). En effet, ces dernières peuvent être configurées pour produire moins d'essence ou de supercarburant et davantage de gazole ou de fuel domestique.

Une différence frappante entre le raffinage du pétrole et la plupart des autres activités intensives en énergie, comme la sidérurgie, réside dans le fait que les configurations les plus récentes sont plus émettrices de CO₂ que les anciennes, comme le montre le tableau 6 ci-dessous. Cependant, pour une configuration donnée, une raffinerie moderne consomme typiquement moins d'énergie et émet moins de CO₂, qu'une raffinerie plus ancienne, car de nouvelles options à même de réduire les émissions deviennent disponibles, ou moins coûteuses, au cours du temps.

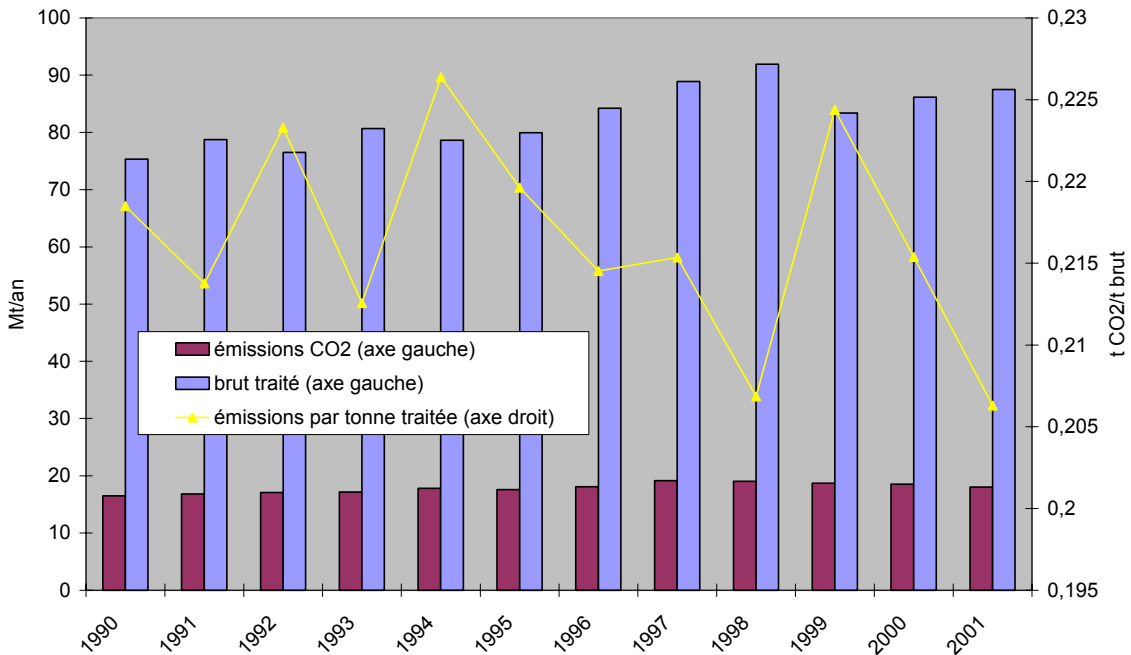
Tableau 6. Émissions de CO₂ par tonne de brut traité pour chaque configuration, et en moyenne dans le scénario de référence

Configuration	Simple	FCC	HCU	Complexe	Moyenne UE 15	Moyenne France
t CO ₂ /t brut	0,10	0,19	0,30	0,33	0,22	0,20

Ces chiffres nous ont été aimablement fournis par Total, et nous avons vérifié qu'ils étaient proches de ceux que nous avons obtenu en reconstruisant chaque configuration et en attribuant à chaque installation les facteurs d'émission trouvés dans la littérature (Quirion et Rolin, 2003). Ce tableau indique également les émissions par tonne de brut traité en moyenne dans l'Union européenne et en France. On voit que le parc français, dominé par les raffineries FCC, est 10 % moins émetteur que le parc européen.

Les émissions par tonne de brut en moyenne pour la France sont cohérentes avec la poursuite des tendances observées, comme le montre le graphique 4 ci-dessous, construit à partir de l'inventaire officiel français. Ces émissions étaient en 2001 proches de 0,205 t CO₂/t brut, avec une légère tendance à la baisse depuis 1990.

Graphique 4. Emissions et production du raffinage de pétrole en France



Cette évolution historique des émissions unitaires résulte de deux facteurs de hausse et d'un facteur de baisse. Les deux facteurs de hausse sont, l'un, la modification de la composition de la demande en carburant déjà mentionnée, avec la poursuite de la baisse de la demande de fuel lourd et la hausse de la demande de gazole, et l'autre la modification des spécifications des carburants, en particulier la désulfuration imposée par les normes européennes euro 1 à 3. Sur la période 1990-2001, ils ont été compensés par une meilleure efficacité énergétique pour chaque configuration de raffinerie.

Notre modèle suppose que chaque raffineur est en concurrence pure et parfaite sur tous les marchés : pétrole brut, produits raffinés, quotas d'émission. Le prix des quotas d'émission est exogène, c'est-à-dire déterminé indépendamment du modèle. En effet, les raffineurs seront libres d'acheter ou de vendre des quotas à des entreprises d'autres branches (électricité, matériaux...) et du fait de la faible part du raffinage dans les émissions couvertes, le prix d'équilibre ne sera que peu influencé par les évolutions sur le marché du raffinage. Dans Quirion et Rolin (2003), nous fournissons les résultats pour trois prix du CO₂ : 5, 10 et 20 euros par tonne. Ici, nous ne présentons que les résultats avec l'hypothèse haute de 20 euros, celle que nous avons également retenue pour la sidérurgie dans le second rapport intermédiaire, remis en 2002.

Les prix des produits raffinés et les quantités produites, consommées, exportées et importées résultent de l'équilibre, sur les sept marchés des produits raffinés, entre les offres des producteurs européens et étrangers (dont nous supposons qu'ils ne sont pas soumis à des politiques similaires) et les demandes des consommateurs, dont nous supposons qu'elles sont élastiques au prix. Le prix du brut est fixe et exogène, en revanche l'élasticité-prix des différents produits est supposée égale à -0,6. Cette valeur découle des études économétriques sur la demande de carburants. Faute d'élément en sens inverse, nous supposons qu'elle s'applique aussi aux autres produits pétroliers.

Pour chaque configuration de raffinerie, nous construisons une courbe de coût marginal de production agrégé, croissant car les raffineries ne présentent pas toutes la même rentabilité. Nous construisons cette courbe, que nous supposons linéaire, à partir de la condition de

concurrence pure et parfaite (égalité du prix et du coût marginal) et de nos informations sur le coût moyen. Le coût de production moyen (hors coût du capital) pour chaque configuration nous a en effet été aimablement fourni par Total, et nous avons vérifié qu'il était proche de celui que nous avons obtenu en reconstruisant chaque configuration et en attribuant à chaque installation les coûts trouvés dans la littérature (Quirion et Rolin, 2003, annexe 5). Les marges par unité de brut traité déduites de ces chiffres sont par ailleurs cohérentes avec celles publiées par l'Agence internationale de l'énergie et dans la littérature professionnelle (Quirion et Rolin, 2003, annexes 4 et 5). Le tableau 7 ci-dessous présente ces chiffres de coût moyen, calculés sur la base de la valeur du dollar US au démarrage de ce travail, soit un euro = 0,92 dollars US.

Tableau 7. Coût moyen par baril traité pour chaque configuration, hors coût du capital

Configuration	Simple	FCC	HCU	Complexe
Dollars US par baril de brut traité	0,70	1,80	1,80	2,00

En fonction du prix des quotas, du prix du brut et des produits raffinés ainsi que de leurs contraintes techniques, chacun des quatre types de raffinerie représentatif choisit la quantité de brut traité et les dépenses de réduction d'émissions qui lui permettent de maximiser son profit en prenant en compte le coût des émissions. Le prix du brut (plus précisément le coût CAF du *Brent*) est le prix du marché au démarrage de ce travail, soit 29,46 dollars US.

2.2. L'estimation du coût de réduction des émissions

Malheureusement, aucune courbe de coût marginal de réduction des émissions satisfaisante n'est disponible publiquement. Nous avons donc eu recours à quatre variantes, dont nous allons voir qu'aucune n'est satisfaisante, mais qui encadrent forcément la réalité.

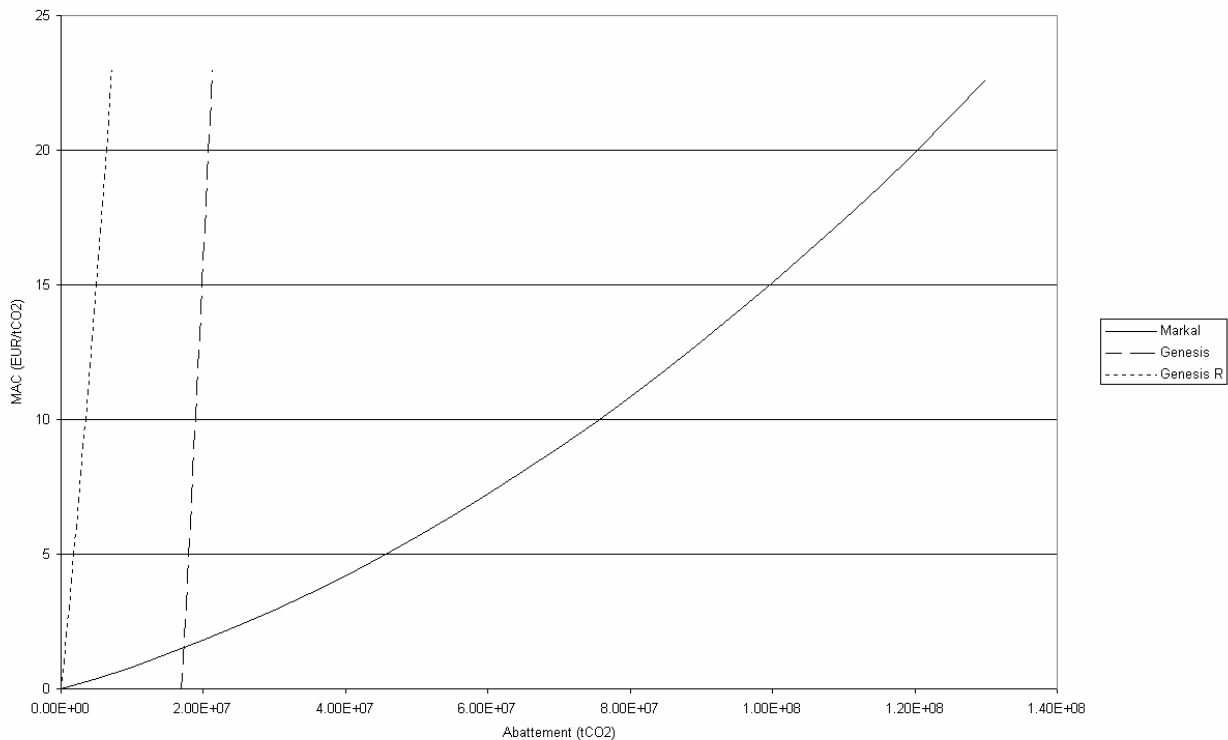
- Aucune action de réduction (courbe AAR). Cette courbe interdit toute forme de réduction. Même s'il elle n'est pas réaliste, elle permet de déduire du modèle des bornes supérieures pour les pertes de profit et de production.
- Courbe de réduction déduite du modèle Markal (courbe M). Le modèle Markal Europe (Sijm et al., 2002), contient des informations sur les courbes d'abattement des différents secteurs industriels ; il comporte notamment un secteur "Raffinage" et donne les émissions en fonction du prix du CO₂. Nous interpolons les résultats de ce modèle avec un polynôme du second degré et introduisons ce polynôme dans notre fonction de coût de production. Cette courbe ne fait pas apparaître de potentiel rentable d'économie d'énergie, mais elle aboutit à des réductions d'émissions très importantes même pour un prix modéré du CO₂, comme nous allons le voir en présentant les résultats.
- Courbe de réduction dérivée du modèle Genesis (courbe G). Il s'agit de la courbe la plus précise que nous ayons à notre disposition, puisqu'elle est construite à partir d'actions concrètes de réduction des émissions. Par ailleurs, on peut attribuer ces réductions aux différentes configurations des raffineries, ce qui n'était pas le cas précédemment. Ces données sont tirées du rapport de Hendriks et al. (2001) pour la Commission européenne. Nous procédons comme dans le cas précédent, sauf que nous n'attribuons à chaque configuration de raffinerie que les réductions d'émissions qui y sont applicables. Cette courbe fait apparaître un fort potentiel rentable d'économie d'énergie, ce qui pose un

problème de cohérence avec le reste de notre modèle, qui suppose un comportement rationnel de la part des raffineurs. C'est pourquoi nous utilisons également une quatrième courbe :

- Courbe de réduction dérivée du modèle Genesis recentrée (G R). Pour éliminer ce potentiel sans regret, conformément à une pratique certes peu justifiable sur le plan théorique mais courante dans la pratique de l'articulation entre modèles technico-économiques et modèles économiques d'équilibre, on décale cette courbe vers le haut pour la faire passer par l'origine.

On obtient les trois courbes de coût marginal de réduction des émissions (MAC) présentées dans le graphique 5 ci-dessous. Le graphique ne représente ces courbes que pour un coût marginal de réduction des émissions positif, mais la courbe Genesis continue bien en dessous de l'origine. La courbe AAR n'est pas représentée mais se confondrait avec l'axe des ordonnées. On voit que Markal est bien plus optimiste que Genesis recentré ou même que Genesis, dès que le prix dépasse 2 euros par tonne de CO₂.

Graphique 5. Courbes de coût marginal de réduction des émissions dérivées de Markal, Genesis et Genesis recentré



2.3. Les élasticités-prix des importations et des exportations

Comme nous le verrons en commentant les résultats, la valeur retenue pour les élasticités-prix des importations et des exportations est cruciale pour les effets sur la compétitivité. Nous avons retenu deux cas :

- Une élasticité-prix faible de - 2,8, celle retenue par le modèle GTAP.

- Une élasticité-prix forte de - 16, celle retenue par le modèle WorldScan pour le long terme.

Les valeurs retenues par les autres modèles d'équilibre général désagrégés et les estimations économétriques trouvées dans la littérature se situent dans cette fourchette.

2.4. Le cas particulier du fuel lourd

La directive "quotas" n'influence la production de la plupart des produits raffinés qu'une fois, au stade du raffinage. En effet, les émissions de la combustion des carburants ou du fuel domestique ne sont généralement pas soumises à ce texte car il ne s'applique pas aux installations de combustion inférieures à 20 MW. Le fuel lourd constitue à cet égard une exception puisqu'il est consommé par des secteurs soumis à la directive, comme la production d'électricité ou de ciment. Par conséquent, la directive peut influencer une seconde fois l'équilibre du marché du fuel lourd, cette fois par le biais de la consommation. Cependant, quantifier cet effet supposerait de modéliser ces secteurs de demande, et en particulier les substitutions entre le fuel lourd et les autres combustibles dont les émissions sont également soumises à la directive : charbon, lignite et gaz.

Faute d'avoir pu faire cette démarche lourde, nous distinguons deux cas :

- Pas de baisse de la demande de fuel lourd suite à la directive (sachant que l'équilibre du marché du fuel lourd est tout de même influencé par la directive, par le biais de l'offre) ;
- Baisse de la demande de fuel lourd (rappelons que nous avons supposé une élasticité-prix des différents produits raffinés égale à -0,6).

2.5. Résultats avec vente aux enchères intégrales des quotas

Même si ce mode d'allocation n'est pas autorisé par la directive, son examen est utile, ne serait-ce que parce qu'il est généralement recommandé par les économistes. Nous supposons que les recettes de la vente des quotas ne sont pas rétrocédées aux entreprises.

Commençons par étudier les résultats agrégés sur les quatre configurations de raffineries, et avec baisse de la demande de fuel lourd.

Tableau 8. Résultats agrégés, enchères intégrales, baisse de la demande de fuel lourd, 20 euros/t CO2

	Elasticités-prix du commerce international faibles				Elasticités-prix du commerce international fortes			
	AAR	Markal	Genesis	Gen. R	AAR	Markal	Genesis	Gen. R
Émissions (%)	-2.5	-26.3	-17.3	-7.1	-5.7	-28.6	-19.5	-10.2
Profit (%)	-0,2	-0,01	1,4	-0,04	-8,2	-7,6	-5,6	-7,9
Quantité (%)	-2.8	-2.6	-2.3	-2.8	-4.2	-3.5	-2.7	-4.1

Le choix de l'une ou l'autre courbe de coût marginal de réduction des émissions a un effet très net sur l'ampleur de la réduction des émissions. Cependant, à une exception près, ces différentes courbes aboutissent à des résultats très voisins sur les quantités raffinées et sur le

profit. Seule la courbe dérivée du modèle Genesis se démarque de l'ensemble des courbes étudiées en concluant à un effet positif sur le profit en cas d'élasticités faibles. Cependant, utiliser cette courbe pose un problème de cohérence interne, comme indiqué ci-dessus.

Le principal facteur d'indétermination pour la compétitivité réside dans les élasticités-prix du commerce international. Plus ces élasticités sont fortes (en valeur absolue), plus les importations augmentent et les exportations diminuent, suite au surcoût entraîné par la directive. Par conséquent, l'impact sur les deux dimensions de la compétitivité (la quantité produite et le profit) est beaucoup plus important avec des élasticités fortes. Le profit apparaît d'ailleurs plus "volatil" que la production. Signalons enfin que si les réductions d'émissions augmentent avec les élasticités, c'est uniquement dû à des fuites de carbone plus importantes vers le reste du monde.

L'impact est nettement différencié selon la configuration de raffinerie, comme le montre le tableau 9 ci-dessous.

Tableau 9. Résultats pour chaque configuration, enchères intégrales, 20 euros/t CO2

	Avec baisse de la demande de fuel lourd	
	Elasticités-prix du commerce international faibles	Elasticités-prix du commerce international fortes
Simple	Baisse sensible du profit (-32 à -33%) et de la quantité produite (-18%)	Effet variable sur le profit (-0,7 à +6%) et la quantité produite (-0 à +3%)
FCC	Hausse du profit (+2 à +7%) et de la quantité produite (+1 à +3%)	Légère baisse du profit (0 à -5%) et de la quantité produite (0 à -3%)
HCU	Baisse sensible du profit (-5 à -26%) et de la quantité produite (-3 à -14%)	
FCC+HCU	Baisse sensible du profit (-4 à -19%) et de la quantité produite (-2 à -10%)	
	Hors baisse de la demande de fuel lourd	
Simple	Hausse du profit (+30 à +38%) et de la quantité produite (+14 à +17%)	
FCC	Légère baisse du profit (-7 à +1%) et de la quantité produite (-3 à +0,5%)	
HCU	Baisse sensible du profit (-16 à -29%) et de la quantité produite (-8 à -16%)	
FCC+HCU	Baisse sensible du profit et de la quantité produite (-6 à -11%)	

D'une manière générale, l'effet est négatif sur les configurations les plus émettrices, HCU et complexe (FCC&HCU). Les raffineries simples, les moins émettrices, voient la quantité produite et profit augmenter si l'on ne retient pas l'hypothèse d'une baisse de la demande de fuel lourd. Avec cette baisse, l'effet de la directive sur ces raffineries est presque neutre si les élasticités-prix du commerce extérieur sont fortes, car elles peuvent alors exporter facilement leur production de fuel lourd. En revanche, avec une baisse de la demande de fuel lourd et des élasticités faibles, la compétitivité de ces raffineries souffre. Ce dernier cas est en revanche favorable aux raffineries FCC, qui sont moyennement émettrices et produisent peu de fuel lourd. Dans les autres cas, ces raffineries subissent une légère baisse de leur compétitivité.

2.6. Résultats avec allocation gratuite absolue des quotas

La directive n'autorisant pas les Etats membres à vendre l'ensemble des quotas, nous avons testé deux modes d'allocation gratuite : une allocation d'une quantité absolue de quotas, fixée dès le démarrage du système *ad vitam aeternam*, et une allocation en fonction de la production. Aucune de ces deux méthodes n'est autorisée par la directive, mais la marge de manœuvre laissée par ce texte est telle que la méthode précise d'allocation n'est pas connue, et sera variable d'un Etat membre à l'autre. Aussi, nos deux modes "purs" d'allocation encadrent en quelque sorte les choix qui seront faits par les Etats membres et la Commission.

L'allocation absolue entraîne les mêmes conséquences que la vente aux enchères pour toutes les variables, sauf les variations de profit. En effet, les producteurs prennent leurs décisions (niveau de production et d'émission) en fonction du prix des quotas, mais indépendamment du fait que ces quotas leur soient distribués gratuitement ou bien vendus : utiliser des quotas distribués gratuitement au lieu de les vendre sur le marché a un coût d'opportunité, donc l'incitation à réduire les émissions est la même qu'en cas de vente aux enchères. Ce mode d'allocation semble donc approprié pour neutraliser les effets négatifs de la mise en place du marché d'émissions sur le profit des raffineurs européens. Il est intéressant de s'intéresser à la quantité de quotas d'émission que les autorités doivent distribuer gratuitement pour compenser la perte de profit dans chacun des cas ci-dessus. En exprimant cette quantité en pourcentage des émissions du scénario de référence, on obtient, selon les différents modèles et pour différentes variantes, les valeurs regroupées dans le tableau 10.

Tableau 10. Montant de quotas qu'il faut distribuer gratuitement pour que la directive n'ait pas d'effet sur le profit, en pourcentage du scénario de référence

Hors baisse de la consommation de fuel lourd								Avec baisse de la consommation de fuel lourd							
Elasticités faibles				Elasticités fortes				Elasticités faibles				Elasticités fortes			
AAR	M	G	G R	AAR	M	G	G R	AAR	M	G	G R	AAR	M	G	G R
19	18	14	18	31	29	23	30	1	0	-	0	26	24	18	25

On voit que dans le pire des cas, il suffit de distribuer gratuitement une quantité de quotas égale à 31 % des émissions du scénario de référence et de laisser les raffineurs acheter le reste aux enchères ou sur le marché pour que l'effet sur le profit soit nul.

Comme précédemment, on observe un comportement différent du modèle Genesis, lié au fait que la variation globale du profit est positive. Les trois autres modèles (Markal, AAR et G R) donnent des résultats proches. Enfin, la compensation doit être supérieure en cas d'élasticité-prix du commerce extérieur forte, puisque les producteurs européens répercutent une plus faible fraction des surcoûts.

Rappelons que la directive européenne impose aux États-membres de distribuer gratuitement au moins 95 % (entre 2005 et 2007) puis au moins 90 % (entre 2008 et 2012) des quotas. Peut-on pour autant déduire des résultats précédents que les profits des raffineurs vont en moyenne augmenter ? Pas directement, car le mode de distribution prévu par la directive ne correspond pas à du grandfathering "pur" tel que nous le modélisons. En effet, selon la directive, la quantité de quotas versés n'est pas fixée *ad vitam aeternam* dès le départ, mais redéfinie au bout de trois ans puis tous les cinq ans. De ce fait, les raffineurs peuvent anticiper

que s'ils baissent leur production en Europe, ils recevront moins de quotas au cours des périodes suivantes, et réciproquement. Aussi, le mode d'allocation retenu en Europe est en quelque sorte intermédiaire entre du grandfathering et une allocation proportionnelle à la production.

2.7. Résultats avec allocation proportionnelle à la production

Nous avons enfin simulé une allocation proportionnelle à la production. Plus précisément, nous avons supposé que chaque année, chaque raffinerie reçoit, par tonne de brut traité, une même quantité de quotas. Il est alors intéressant de rechercher la quantité de quotas pour laquelle le secteur n'est ni vendeur net ni acheteur net de quotas. Suivant les variations des différents paramètres retenus, on obtient les résultats présentés dans le tableau 11 ci-dessous. Les valeurs sont exprimées en pourcentage des émissions unitaires initiales.

Tableau 11. Point neutre : quantité de quotas distribuée en proportion de la production pour laquelle le secteur n'est ni vendeur net ni acheteur net, à 20 euros/t CO2

Hors baisse de la consommation de fuel lourd								Avec baisse de la consommation de fuel lourd							
Elasticités faibles				Elasticités fortes				Elasticités faibles				Elasticités fortes			
AAR	M	G	GR	AAR	M	G	GR	AAR	M	G	GR	AAR	M	G	GR
97	73	81	92	95	72	80	91	100	75	84	95	97	73	81	92

On observe que cette quantité dépend essentiellement des courbes MAC retenues : pour une courbe MAC fixée, cette valeur dépend peu de l'élasticité ou de la l'évolution de la consommation de fuel lourd. Naturellement, plus la courbe d'abattement est optimiste, c'est-à-dire prévoit des réductions bon marché, plus la valeur d'équilibre est faible.

Nous avons retenu le chiffre de 90 % des émissions spécifiques du scénario de référence car il s'agit d'une valeur moyenne : il implique que le secteur soit un acheteur net selon les courbes AAR et GR, mais un vendeur net selon M et G. Les résultats sont présentés dans le tableau 12 ci-dessous.

Tableau 12. Résultats agrégés, allocation proportionnelle à la production, baisse de la demande de fuel lourd, 20 euros/t CO2

	Elasticités-prix du commerce international faibles				Elasticités-prix du commerce international fortes			
	AAR	Markal	Genesis	Gen. R	AAR	Markal	Genesis	Gen. R
Émissions (%)	-1.5	-25.7	-16.5	-6.2	-2.9	-26.9	-17.3	-7.6
Profit (%)	+0.7	-0.9	+2.3	+0.9	-5.5	-4.9	-2.9	-5.3
Quantité (%)	-1.2	-1.0	-0.7	-1.2	+0.4	+1.0	+1.8	+0.5

Ce mode d'allocation permet de neutraliser la baisse de la production, puisque celle-ci n'atteint que 1 % dans le pire des cas, contre 4 % avec les deux modes d'allocation précédents. Ce

mode d'allocation peut en effet s'analyser comme la combinaison d'une vente des quotas aux enchères et d'une subvention à la production. Avec des élasticités du commerce extérieur élevées, la production augmente même par rapport au scénario de référence.

Cependant les évolutions du profit ne sont guère plus favorables qu'en cas de mise aux enchères. Cet outil paraît donc mal approprié pour corriger les pertes de profit. De plus, par rapport à la vente aux enchères ou au grandfathering, il favorise les raffineries simples, pour lesquelles il représente une subvention par unité de valeur ajoutée plus élevée. Il freine donc la tendance historique d'abandon progressif des raffineries simples au profit des configurations plus complexes, ce qui peut poser des problèmes à terme si la demande mondiale de fuel lourd continue à diminuer. Si une allocation proportionnelle à la production devait être retenue à l'avenir, il faudrait donc tester des assiettes plus complexes que le volume de brut traité.

2.8. Comparaison avec les variations de taux de change

Le raffinage en Europe se caractérise par l'achat et la vente de matières premières et de produits raffinés libellés en dollars alors que les coûts des opérations sont payés en euros. Par conséquent, une hausse de l'euro par rapport au dollar réduit la compétitivité des raffineurs européens vis-à-vis de leurs homologues aux Etats-Unis.

Pour évaluer l'influence des taux de changes sur la production et le profit des firmes en Europe, indépendamment de toute politique climatique, on se base sur le modèle précédent en fixant à zéro le prix des quotas.

Rappelons que les calculs à la base des résultats présentés dans ce chapitre sont basés sur un euro à 0,92 dollars US, soit le taux de change du marché au démarrage du travail. Les résultats sont donnés dans le tableau 13 ci-dessous en % (les profits sont évalués en euros).

Tableau 13. Résultats agrégés, allocation proportionnelle à la production, baisse de la demande de fuel lourd, 20 euros/t CO2

	Elasticités-prix du commerce international faibles				Elasticités-prix du commerce international fortes			
	0.7	0.92	1.0	1.2	0.7	0.92	1.0	1.2
1€=e\$ ⇔								
Profit (%)	+16.7	+0.0	-4.7	-14.1	+27.5	+0.0	-6.9	-20.3
Quantité (%)	+1.2	+0.0	-0.4	-1.4	+3.1	+0.0	-1.2	-4.2

Suite à une hausse de l'euro jusqu'à 1,2 dollars US, donc inférieure à celle qui a eu lieu depuis le début de ce travail, la quantité raffinée diminue de 4,2 % en cas d'élasticités-prix du commerce international fortes. Ce chiffre est équivalent à l'effet de quotas aux enchères à 20 euros par tonne de CO2 dans la pire des hypothèses (Cf. tableau 8 ci-avant). Le profit diminue davantage : -20 % en cas de hausse de l'euro jusqu'à 1,2 dollars US contre -8 % avec des quotas aux enchères dans la pire des hypothèses.

On peut en conclure que les ordres de grandeurs des variations de profit et de production dues aux fluctuations des taux de changes sont plus importants, quelles que soient l'élasticité des importations / exportations et la courbe de coût marginal de réduction des émissions retenues, que celles induites par la mise en place d'un marché de quotas d'émission.

2.9. Conclusion

Les conclusions de cette étude du secteur du raffinage de pétrole apparaissent en phase avec celles de l'étude de la sidérurgie (Cf. le second rapport intermédiaire) :

- Les impacts sur la compétitivité apparaissent limités, plus en tout cas que ceux des variations récentes du taux de change euro/dollar, même en prenant l'hypothèse d'un prix du CO₂ de 20 euros, supérieur aux anticipations actuelles des marchés.
- Ces impacts sont plus robustes à l'incertitude sur le coût marginal de réduction des émissions qu'à l'incertitude sur les élasticités-prix du commerce extérieur.
- Il apparaît un dilemme entre la volonté d'atténuer le premier aspect de la compétitivité (les pertes de production) et le second aspect (les pertes de profit). La distribution de quotas en proportion de la production corrige bien le premier aspect mais mal le second, alors que c'est l'inverse avec la distribution gratuite absolue des quotas.

Par ailleurs, d'autres conclusions émergent, liées à la prise en compte de plusieurs produits et de plusieurs configurations de production.

L'évolution de la demande de fuel lourd suite à l'introduction de la directive dans les secteurs demandeurs de ce combustible a une influence significative sur les raffineries simples. Une modélisation des principaux secteurs demandeurs de ce combustible serait nécessaire pour trancher ce point.

En cas d'allocation des quotas en fonction de la production, la règle d'allocation la plus naturelle est a priori la quantité de brut traité. Elle aboutit pourtant à favoriser les raffineries simples, ce qui ralentit la tendance historique à la diminution de la part de ces raffineries pour s'adapter à la demande des différents combustibles et peu poser des problèmes à terme.

Parmi les trois autres configurations de raffineries, celles à craquage catalytique fluide (FCC), moins émettrices, sont relativement favorisées par la mise en place de la directive. Or, le parc français comporte une plus grande part de raffineries FCC que celui de la moyenne de l'UE 15¹¹, d'où un impact favorable sur la position concurrentielle de notre pays, relativement aux autres Etats-membres.

¹¹ Ceci, bien que notre scénario de référence à 2010 inclue la transformation de certaines raffineries FCC en raffineries complexes (FCC+HCU).

3. Les objectifs relatifs sont-ils justifiés par l'incertitude?

Beaucoup de politiques environnementales limitent les émissions polluantes non en termes absolus mais en proportion de la production ; on parle d'objectifs "relatifs". C'est le cas de la plupart des réglementations, de beaucoup d'accords volontaires et de quelques systèmes de permis échangeables. De plus, récemment, certains chercheurs et négociateurs ont proposé de remplacer ou de compléter les objectifs absolus fixés par le Protocole de Kyoto par des objectifs "relatifs" ou "dynamiques", c'est-à-dire de limiter le ratio émissions/PIB. L'annonce par les États-Unis en 2002 de l'adoption unilatérale d'un tel objectif a encore stimulé le débat autour de cet instrument. Le principal argument avancé est qu'une croissance imprévue augmenterait les émissions, "donc" que l'objectif devrait alors être rendu moins strict.

Cependant, à notre connaissance, cet argument n'a jamais été modélisé. Certains articles récents comparent les objectifs absolus et relatifs, mais dans un cadre déterministe. Nous fournissons donc la première analyse dans le cadre d'un modèle stochastique.

Notre modèle se base sur celui de Weitzman (1974). Nous le développons en distinguant deux sources d'incertitude : les émissions *business-as-usual* (BaU), que nous postulons proportionnelles à la production, et la pente de la courbe de coût marginal. L'introduction de l'incertitude nous permet de comparer les objectifs relatifs non seulement aux objectifs absolus mais aussi à un instrument prix (une taxe ou une subvention). Cette comparaison systématique est bienvenue puisque nous démontrons qu'en général, le bien-être espéré d'un objectif relatif est intermédiaire entre celui d'un objectif absolu et celui d'un instrument prix.

Nous procédons de la manière suivante. Nous commençons par décrire les politiques existantes basées sur des objectifs relatifs (section 1), la littérature pertinente (2), notre modèle (3) et les instruments de politique publique que nous étudions (4). Nous comparons ensuite ces instruments quant au bien-être espéré (5). Enfin, la section 6, lève une hypothèse faite jusqu'alors : la parfaite proportionnalité de la production et des émissions BaU.

3.1. Les objectifs d'émission relatifs en pratique

Définis de manière suffisamment large, les objectifs relatifs ne sont en rien un nouvel instrument puisqu'on les rencontre dans beaucoup de réglementations, d'accords volontaires et de systèmes de permis négociables.

Ainsi, la plupart des réglementations sont exprimées en unités de polluants par mètre cube d'effluent. Dans la mesure où, pour une installation donnée, le volume d'effluents est étroitement déterminé par le niveau de production, ce type de limitation est plus proche d'un objectif relatif que d'un objectif absolu. Cet argument vaut aussi pour les prescriptions technologiques (Ebert, 1998).

De même, la plupart des accords volontaires sur la consommation d'énergie ou les émissions de gaz à effet de serre comportent à la fois des objectifs relatifs et absolus : c'est le cas aux Pays-Bas, au Royaume-Uni, en France, en Allemagne ou aux États-Unis. Bien qu'il ne soit pas établi que ces objectifs soient inférieurs aux émissions *business-as-usual*, leur existence indique que les objectifs relatifs sont préférés par beaucoup d'industriels et acceptés par certains gouvernements.

Enfin, les objectifs relatifs sont également utilisés dans certains systèmes de permis d'émission négociables (Boemare et Quirion, 2002). Le premier système de ce type a sans doute été le programme d'élimination progressive du plomb dans l'essence aux États-Unis. Au

Royaume-Uni, certains participants du marché de permis d'émission de gaz à effet de serre ont des objectifs relatifs. Enfin, les Pays-Bas vont prochainement mettre en place un système de permis d'émission de ce type pour les oxydes d'azotes.

3.2. Leçons de la littérature existante

La littérature sur les objectifs relatifs peut se diviser en deux familles. La première porte sur l'utilisation d'objectifs nationaux d'émission de gaz à effet de serre relatifs au PIB, pour compléter ou remplacer le Protocole de Kyoto sur le changement climatique. Elle prend généralement la forme de discussions non formalisées ou de travaux sur la corrélation entre l'évolution du PIB et celle des émissions de CO₂. Dans la mesure où nous ne nous focalisons pas sur le changement climatique mais cherchons à obtenir des résultats généraux, nous ne présentons pas cette branche de la littérature ici. Le lecteur intéressé pourra se reporter au *survey* de Philibert et Pershing (2002: 132-142) et, pour des références plus récentes, à Ellerman et Sue Wing (2003), Kolstad (2002) et Pizer (2003).

La seconde branche de cette littérature porte sur les objectifs relatifs au niveau des entreprises, comme ceux fixés par les systèmes décrits à la section précédente. Dans ce domaine, les seuls modèles utilisés sont déterministes et se focalisent sur les incitations que les objectifs relatifs fournissent au niveau de la firme ; cf. par exemple Ebert (1998), Fischer (2001) ou Koutstaal et al. (2002). Ces mécanismes peuvent fournir, dans certaines situations, une justification pour les quotas relatifs et peuvent ainsi expliquer leur fréquence. En particulier, parce qu'ils ne créent pas de rente de rareté, ils génèrent moins d'effets redistributifs que les quotas absolus, ce qui facilite leur adoption. De plus, certains instruments relatifs, en particulier de type réglementaire, sont plus faciles à contrôler. Enfin, ils peuvent réduire les "fuites de polluants" vers les sources non régulées. Cependant, à cause de l'absence de rente de rareté, ils empêchent de faire jouer à plein les substitutions entre secteurs polluants et secteurs non polluants, par rapport à l'optimum de premier rang.

La plupart de ces auteurs considèrent l'incertitude comme un élément essentiel dans le choix entre objectifs relatifs et absolus. Pourtant, aucun modèle stochastique n'a été construit pour comparer les objectifs relatifs à d'autres instruments. Le présent article propose le premier modèle de ce type. En revanche, nous ne reprenons pas les mécanismes déterministes identifiés dans la littérature existante, non parce qu'ils ne seraient pas importants, mais pour limiter la complexité du modèle et obtenir des résultats analytiques.

3.3. Hypothèses centrales et présentation du modèle

Notre modèle se base sur celui de Weitzman (1974), mais s'en distingue sur trois points. Tout d'abord, il nous faut modéliser l'incertitude sur le niveau d'émission *business-as-usual* (BaU), que nous supposons lié à la production, donc à l'objectif relatif. Il nous faut donc distinguer deux sources d'incertitude : le niveau des émissions BaU et le coût marginal d'abattement pour un taux de réduction d'émissions donné. Deuxièmement, parce que les émissions BaU sont stochastiques, il est plus pratique d'exprimer le modèle en terme d'émissions plutôt que de réductions d'émissions. Enfin, pour la même raison, nous n'utilisons pas des approximations locales des courbes de coût et bénéfice marginal mais des courbes supposées valides pour tous les niveaux d'émission. Nous utilisons donc la courbe de coût marginal de réduction des émissions suivante :

$$MAC = c_2 f(1 - e/\alpha) \tag{1}$$

où $e \in [0, \alpha]$ est le niveau d'émission, α est le niveau *ex post* des émissions BaU, normalisé de manière à ce que $E[\alpha] = 1$, $-c_2$ est la pente *ex ante* de la courbe, f est une variable reflétant l'incertitude sur la pente de la courbe (pour un niveau donné d'émissions BaU), normalisé de manière à ce que $E[f] = 1$. En conséquence, la pente *ex post* de la courbe est $-c_2 f / \alpha$. De plus, nous fixons $c_2 > 0, f > 0$ et $\alpha > 0$.

Cette formulation appelle deux remarques. Tout d'abord, sans perte de généralité, les émissions BaU sont normalisées à 1. Deuxièmement, suite à un choc sur les émissions BaU α , un même coût marginal entraînera une même réduction des émissions *en pourcentage des émissions BaU*. En conséquence, suite à une augmentation des émissions BaU, le niveau de réduction d'émissions augmente en valeur absolue pour un même coût marginal, et la pente de la courbe, parce qu'elle est exprimée dans notre modèle en valeur absolue, diminue (cf. schéma 1 ci-dessous, partie gauche). L'hypothèse implicite est que les capacités de productions marginales sont similaires aux capacités de production moyenne quant au coût de réduction des émissions¹.

La courbe de bénéfice marginal environnemental *MEB* est analogue à celle de Weitzman mais, comme la courbe *MAC*, exprimée en terme d'émissions, non de réductions d'émissions :

$$MEB = b_1 + b_2 e \quad (2)$$

Nous fixons $b_1 < c_2$ pour éviter un optimum à zéro pollution et $b_2 > 0$ comme dans le modèle de Weitzman. Nous ne modélisons pas l'incertitude sur le bénéfice car il est bien connu que celle-ci ne joue que si elle est corrélée à l'incertitude sur le coût (Weitzman, 1974, Stavins, 1996).

Comme Weitzman (1974), nous supposons que les firmes connaissent les vrais valeurs des variables aléatoires f et α quand elles réduisent les émissions, mais que le régulateur ne connaît pas précisément ces valeurs au moment où il décide d'une politique publique.

3.4. Trois instruments de politique publique

Nous comparons trois instruments :

- Qa , un quota d'émissions absolu, comme celui retenu dans le système de permis négociables de SO₂ aux États-Unis ;
- Qr , un quota d'émissions relatif, c'est-à-dire proportionnel à la production ;
- P , un instrument prix, qui peut être une taxe, une subvention ou une combinaison des deux sous forme de taxe affectée.

Comme l'a souligné Weitzman, sans incertitude sur la fonction de réaction de la firme (ici la courbe *MAC*) tous les instruments aboutiraient au même niveau d'émission, qui serait optimal². Si au contraire la courbe *MAC ex post* diffère de ce que le régulateur anticipe, le niveau d'émission *ex post* différera selon les instruments et s'écartera en général de l'optimum *ex post*.

¹ Certes, cette hypothèse n'est pas nécessairement plausible dans tous les cas. Elle est levée dans une version plus longue de cet article, rédigée en anglais et téléchargeable sur www.centre-cired.fr/perso/quirion. Dans le cadre de notre modèle, cela se traduit par une corrélation soit positive soit négative entre nos deux variables aléatoires.

² Weitzman étudie seulement Qa et P , mais son argument s'applique aussi bien à Qr .

Avec le quota absolu (Qa), le régulateur définit un niveau d'émission autorisé \hat{e} à l'intersection des courbes MAC (*ex ante*) et MEB . En fixant $f=\alpha=1$ dans (1), en égalisant à (2) et en résolvant, on obtient³ :

$$\hat{e} = \frac{c_2 - b_1}{b_2 + c_2} \quad (3)$$

Le prix des permis négociables (ou le prix fictif de la contrainte si les autorisations d'émettre ne sont pas transférables) est, par (1) et (3) :

$$p(\hat{e}) = c_2 f \left(1 - \frac{c_2 - b_1}{\alpha(b_2 + c_2)} \right).$$

Avec le quota relatif (Qr), le régulateur définit un niveau d'émission autorisé proportionnel à la production. Pour le moment, nous supposons que les émissions BaU sont strictement proportionnelles à la production⁴ :

$$e_{qr} \equiv \hat{e} \alpha = \frac{c_2 - b_1}{b_2 + c_2} \alpha \quad (4)$$

d'où un prix (éventuellement fictif) : $p(e_{qr}) = \frac{(b_1 + b_2)c_2 f}{(b_2 + c_2)}$.

Enfin, avec l'instrument prix (P), le régulateur fixe un taux de taxe ou de subvention à l'intersection des courbes MAC (*ex ante*) et MEB . Formellement, on obtient :

$$\tilde{p} = \frac{(b_1 + b_2)c_2}{b_2 + c_2} \quad (5)$$

d'où le niveau d'émission:

$$e(\tilde{p}) = \frac{((b_2 + c_2)f - b_1 - b_2)\alpha}{(b_2 + c_2)f} \quad (6)$$

Proposition 1. Si le niveau d'émissions *ex post* est égal au niveau *ex ante*, alors les quotas relatif et absolu sont équivalents.

Démonstration. Par les équations (3) et (4), il est évident que si $\alpha = 1$ alors $e_{qr} = \hat{e}$ donc Qr se comporte comme Qa . En effet, la quantité d'émissions autorisée avec l'instrument Qr n'est pas affectée par f .

Proposition 2. Si la pente *ex post* de la courbe MAC est égale à la pente *ex ante* (en pourcentage des émissions BaU), alors le quota relatif est équivalent à l'instrument prix.

Démonstration. Par les équations (4) et (6), on voit que si $f=1$ alors $e_{qr} = e(\tilde{p})$, autrement dit Qr se comporte comme P : avec les deux instruments, les émissions *ex post* sont égales aux émissions *ex ante* multipliées par les émissions BaU.

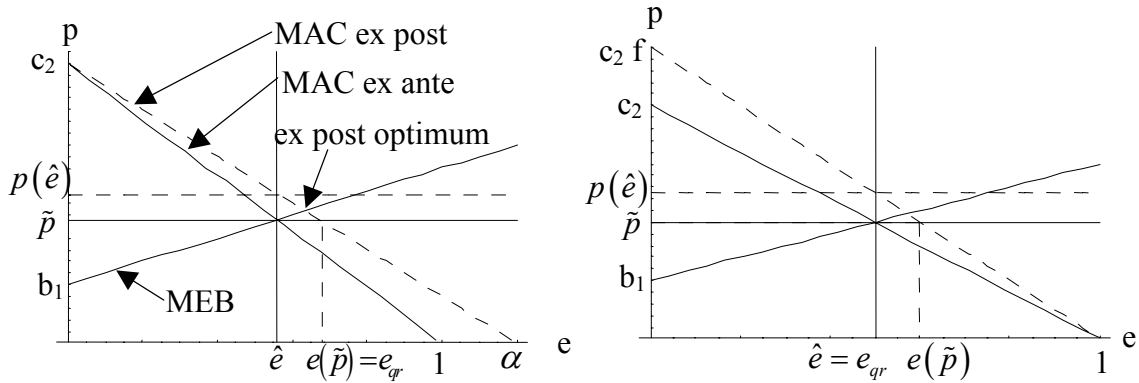
³ Toutes les démonstrations sont disponibles auprès de l'auteur sous forme de document Wolfram Mathematica. Aussi, tous les résultats sont facilement reproductibles.

⁴ Nous relâchons cette hypothèse à la section 6.

Sur le schéma 1 ci-dessous, soit les émissions BaU (partie gauche) soit la pente de la courbe *MAC* (partie droite) sont plus élevées que prévu : dans les deux cas, la courbe *MAC ex post* (en pointillés) est au-dessus de la courbe *ex ante* (en trait plein). En conséquence, dans les deux cas, le quota absolu entraîne un niveau d'émission trop faible et la taxe un niveau d'émission trop élevé par rapport à l'optimum *ex post*, défini par l'intersection de la courbe *MAC ex post* avec la courbe *MEB*. Conformément aux propositions 1 et 2, le quota relatif se comporte comme la taxe dans la partie gauche et comme le quota absolu dans la partie droite.

Schéma 1. Effet des trois instruments face à chaque source d'incertitude.

Partie gauche : émissions BaU plus élevées que prévu ($\uparrow \rightarrow 1$); partie droite : pente de la courbe *MAC* plus élevée que prévu en pourcentage des émissions BaU ($f > 1$).



3.5. Quel rôle pour les quotas relatifs?

Nous pouvons maintenant comparer l'espérance de bien-être de nos trois instruments, en supposant une absence de corrélation entre nos deux variables aléatoires⁵. Le bien-être *W* entraîné par chaque instrument est défini comme la différence entre le bénéfice environnemental et le coût de réduction des émissions :

$$W_{Qa} \equiv \int_{\hat{e}}^{\alpha} MEB - MAC de; \tag{7}$$

$$W_{Qr} \equiv \int_{e_{qr}}^{\alpha} MEB - MAC de; \tag{8}$$

$$W_p \equiv \int_{e(\tilde{p})}^{\alpha} MEB - MAC de. \tag{9}$$

Par les équations (1) à (4), (7) et (8), le bien-être espéré de *Qr* est supérieur à celui de *Qa* si et seulement si :

$$Qr \succ Qa \Leftrightarrow c_2 (E[1/\alpha] - 1) > b_2 \sigma^2 \tag{10}$$

Où σ^2 est la variance de α . Sans incertitude sur α , $E[1/\alpha]=1$ et $\sigma^2=0$, donc cette expression s'annule, conformément à la proposition 1. Dans le cas contraire, le quota relatif tend à être préféré si la courbe *MAC* est plus pentue que la courbe *MEB* ($c_2 > b_2$). On retrouve la condition bien connue de supériorité de l'instrument prix sur l'instrument quantité dans le modèle de

⁵ Cf. note 2 ci-dessus.

Weitzman. Cette condition est cependant modifiée par les termes $E[1/\alpha]-1$ et σ^2 . L'incertitude sur α accroît les deux termes car nous savons, par l'inégalité de Jensen et la convexité de $1/\alpha$ pour $\alpha > 0$, que $E[1/\alpha] > 1/E[\alpha] = 1$. Cependant, selon la loi de probabilité de α , l'un ou l'autre terme croîtra plus vite que l'autre. Pour aller plus loin, nous spécifions donc la loi de probabilité de α en supposant que α peut prendre, avec une même probabilité, deux valeurs, $1+\sigma$ et $1-\sigma$, où $\sigma \in (0,1)$ est l'écart type.

Proposition 3. Si l'incertitude sur les émissions BaU est suffisamment faible, le quota relatif est préférable au quota absolu si et seulement si la courbe *MAC ex ante* est plus pentue que la courbe *MEB*. Un plus haut niveau d'incertitude sur les émissions BaU accroît l'intérêt pour le quota relatif par rapport au quota absolu.

Démonstration. Avec la loi de probabilité que nous postulons, nous avons $E[1/\alpha] = 1/(1-\sigma^2)$, donc (10) devient :

$$Qr \succ Qa \Leftrightarrow c_2 > b_2(1-\sigma)^2 \quad (10')$$

Puisque $\sigma \in (0,1)$, un plus haut niveau d'incertitude sur les émissions BaU accroît l'intérêt pour le quota relatif par rapport au quota absolu.

En résumé, le quota relatif est préférable au quota absolu si la courbe *MAC ex ante* est plus pentue que la courbe *MEB* ou si les pentes sont similaires et la variance des émissions BaU suffisante.

Tournons-nous maintenant vers le choix entre quota relatif et instrument prix. Le problème étant plus complexe, nous faisons dès le départ la même hypothèse que ci-dessus sur la loi de probabilité, cette fois-ci sur les deux variables aléatoires : nous supposons également que f peut prendre avec une même probabilité deux valeurs, $1+\delta$ et $1-\delta$, où $\delta \in (0,1)$ est l'écart type.

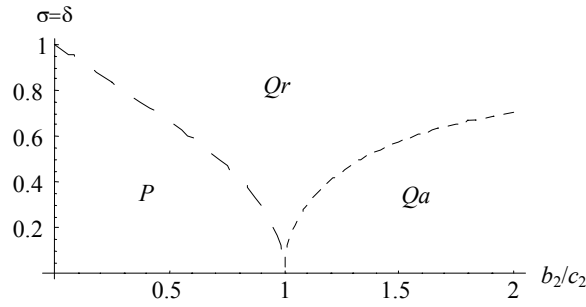
Par (1), (2), (4), (5), (6), (8) et (9), Le quota relatif est préférable à l'instrument prix si et seulement si :

$$Qr \succ P \Leftrightarrow c_2 < b_2 \frac{(b_1 + b_2)(1 + \delta^2) + ((b_1(3 - \delta^2) + b_2(1 + \delta^2)))\sigma^2}{(1 - \delta^2)(b_1 + b_2 + 2b_2\sigma^2)} \quad (11)$$

Qr tend à être préférable à P si $c_2 < b_2$ et vice-versa. Cependant, l'origine de la courbe *MEB* (b_1) et le niveau d'incertitude sur les deux variables aléatoires rentrent également en compte, aussi une présentation graphique est-elle utile. Le schéma 2 ci-dessous indique quel instrument procure le bien-être espéré le plus élevé selon la pente relative des courbes *MEB* et *MAC*, b_2/c_2 , et le niveau de l'incertitude, plus précisément l'écart type des deux variables aléatoires⁶. P est préférable à gauche de la courbe décroissante, Qa à droite de la courbe croissante et Qr au-dessus des deux courbes. On voit que Qr n'est préférable que si les pentes sont très proches ou quand l'incertitude est très élevée.

⁶ La courbe de gauche est dérivée de (11), en supposant $b_1=0$ et $\sigma=\delta$, et la courbe de droite est dérivée de (10'). Prendre des valeurs différentes de b_1 ne change pas les résultats significativement, ni prendre des valeurs différentes pour σ et δ .

Schéma 2. Instrument préféré en fonction des paramètres.



3.6. Variations des émissions BaU moins que proportionnelles à la production

Jusqu'à présent, nous avons supposé par simplicité que les émissions BaU étaient strictement proportionnelles à la production. Cependant, empiriquement, l'évolution de l'intensité énergétique est négativement corrélée à celle de la production, ce qui implique que les variations des émissions BaU liées à la consommation d'énergie sont en fait moins que proportionnelles à la production. En particulier, un récent rapport d'Enerdata et FhG/ISI (2003, p. 21 et 29) fournit des éléments clairs en ce sens pour l'Europe, aussi bien au niveau de l'ensemble du PIB que de la seule industrie manufacturière. L'explication est simple : suite à un surcroît de demande, de nouvelles installations industrielles sont mises en place qui tendent à consommer moins d'énergie, par unité de production, que les anciennes, particulièrement dans les industries intensives en énergie.

Certes, un autre mécanisme pourrait conduire à un résultat opposé : en cas de récession, les installations les plus anciennes, donc les moins économes, tendent à être retirées les premières. Cependant, empiriquement, une corrélation positive entre production et intensité énergétique n'a été constatée en Europe que pendant les chocs pétroliers des années 1970, au cours desquels les prix élevés de l'énergie incitaient à retirer les installations les plus gaspilleuses tout en freinant la croissance.

En résumé, en dehors du cas, rare, d'une récession entraînée par un choc pétrolier, les variations des émissions BaU sont moins que proportionnelles à celles de la production. Quel impact ce fait stylisé a-t-il sur les résultats identifiés jusqu'à présent ?

Supposons que les émissions BaU soient linéairement liées à la production, formellement qu'une croissance des émissions BaU α résulte d'une croissance de la production $1 + a(\alpha - 1)$, $a > 1$. Avec une telle formulation, les émissions BaU *ex ante* sont toujours égales à 1 et la relation entre production et émissions BaU est linéaire, de pente a . Avec un quota relatif, les émissions autorisées atteignent maintenant un niveau e_{qrp} (*np* pour non-proportionnel):

$$e_{qrp} \equiv \hat{e}(1 + a(\alpha - 1)) = (1 + a(\alpha - 1)) \frac{c_2 - b_1}{b_2 + c_2} \quad (12)$$

d'où un prix :

$$p(e_{qrp}) = c_2 f \left(1 + \frac{(1 + a(\alpha - 1))(c_2 - b_1)}{\alpha(b_2 + c_2)} \right)$$

Le bien-être entraîné par la mise en place de Qr est maintenant :

$$W_{Q_{rmp}} \equiv \int_{e_{q_{rmp}}}^{\alpha} MEB - MAC \, de. \quad (13)$$

Par (1), (2), (4), (8), (12) et (13):

$$E[W_{Q_r}] > E[W_{Q_{rmp}}] \Leftrightarrow \frac{(a-1)(c_2 - b_1)^2 (c_2 (a-1)(E[1/\alpha] - 1) + (1+a)b_2\sigma^2)}{2(b_2 + c_2)^2} > 0 \quad (14)$$

ce qui est toujours vrai. Comme le bien-être social espéré entraîné par la mise en place des autres instruments n'est pas affecté par la non-proportionnalité des émissions BaU et de la production, on en déduit :

Proposition 4. La non-proportionnalité des émissions BaU et de la production réduit l'intérêt du quota relatif par rapport aux autres instruments.

Intuitivement, quand $\alpha > 0$ (< 0), les émissions *ex post* sont déjà trop élevées (trop faibles) avec Q_r , et ce défaut est encore renforcé quand les émissions sont moins que proportionnelles à la production.

3.7. Conclusion

En résumé, le quota relatif n'est préférable à la fois au quota absolu et à l'instrument prix que si trois conditions sont simultanément satisfaites :

- La pente *ex ante* des courbes de coût marginal et de bénéfice marginal est très proche ;
- Le niveau d'incertitude est très important ;
- Les émissions *business-as-usual* sont étroitement proportionnelles à la production.

Une telle simultanéité semble extrêmement improbable. Sur le premier point, on peut plutôt s'attendre à ce que la courbe de bénéfice soit ou bien très pentue, en cas de seuil écologique (eutrophisation d'un cours d'eau par exemple), ou bien quasiment plate, en cas d'absence de seuil identifié. Un instrument quantité absolu est préférable dans le premier cas, un instrument prix dans le second. Avec la loi de probabilité que nous avons retenue, même avec un écart type de 0.33, qui implique un écart de un à deux entre le scénario haut et le scénario bas, l'écart entre les pentes des courbes de coût et de bénéfice marginal devrait être inférieur à 1,4 pour que le quota relatif soit le meilleur instrument. Or, un tel écart entre les deux scénarios semble extrêmement improbable, sauf pour le très long terme, mais alors il est possible de réajuster les politiques publiques en cours de route. De plus, si, comme cela semble empiriquement avéré, les émissions *business-as-usual* sont moins que proportionnelles à la production, l'espace des paramètres dans lequel le quota relatif constitue l'instrument préférable est encore réduit.

Pour les cas les plus plausibles, le quota relatif est donc dominé soit par le quota absolu soit par l'instrument prix. Pour choisir entre ces deux instruments, le critère de la pente relative des courbes de coût et de bénéfice marginal mis en évidence par Weitzman (1974) reste pertinent dans notre modèle.

Certes, si l'un des deux autres instruments n'est pas disponible, le quota relatif peut très bien dominer l'instrument restant. Ainsi, de nombreux auteurs (par exemple Pizer, 1999) estiment qu'un instrument prix est mieux adapté à la lutte contre le changement climatique qu'un instrument quantité, mais qu'une taxe internationale serait encore plus difficile à négocier que des objectifs (relatifs ou absolus). Si ces conclusions sont justes, notre modèle fournit une justification aux quotas relatifs par opposition aux quotas absolus, ce qui rejoint certains

travaux effectués dans un cadre moins formel (cf. Philibert et Pershing, 2002, et les références qui s'y trouvent). Cependant, un meilleur compromis entre instruments prix et quantité existe : un quota absolu avec prix plancher et prix plafond fournit un bien-être espéré supérieur à celui des deux instruments "purs", comme l'ont démontré Roberts et Spence (1976).

4. Conclusion générale

En cette fin d'année 2003, le thème de l'impact des politiques climatiques sur la compétitivité européenne a ressurgi avec force. Suite à certaines annonces amenant à douter de la ratification du Protocole de Kyoto par la Russie, donc de l'entrée en vigueur de l'accord, certains Etats membres comme l'Espagne et l'Italie souhaitent remettre en cause l'engagement européen de respecter Kyoto même si cet accord n'entre pas en vigueur¹². Selon ces Etats membres, en effet, l'Europe va souffrir d'un déficit de compétitivité vis-à-vis du reste du monde si elle applique le Protocole de Kyoto unilatéralement, sans que les autres pays développés en fassent autant.

Ce thème apparaît particulièrement récurrent, puisqu'il fut déjà mis en avant pour contester (d'ailleurs avec succès) les projets communautaires de taxation de l'énergie et du CO2 au début des années 1990.

Pour tester la plausibilité de cette crainte, nous avons procédé en trois temps :

1. Analyse théorique de l'effet des différents instruments
2. Analyse multisectorielle dans le cas du marché de quotas de CO2 en Europe
3. Analyse appliquée à différents secteurs intensifs en énergie (acier et raffinage de pétrole)

Tout au long de ce travail, nous avons distingué deux dimensions de la compétitivité :

- Une baisse de la production sur le territoire national, d'où éventuellement un développement du chômage, des délocalisations, des "fuites de carbone" vers d'autres pays...
- Une baisse du profit des firmes nationales, donc de leur valeur boursière.

Les principaux résultats sont les suivants.

4.1. Analyse théorique de l'effet des différents instruments

L'analyse de différents instruments dans un même cadre s'avère fructueuse. Elle permet de mieux saisir ce qui distingue vraiment les instruments les uns des autres. Plutôt que de résumer dans cette conclusion l'ensemble de nos résultats, ce qui serait fastidieux, nous soulignerons simplement les enseignements les plus intéressants de l'exercice.

Tout d'abord, il apparaît que du point de vue de la compétitivité, qui nous intéresse ici, la famille d'instruments choisie (instruments prix, type taxe ou bien instruments quantités, type permis négociables) importe moins que les modalités précises de ces instruments. Une analyse fine de ces modalités s'impose donc.

Ensuite, et il s'agit sans doute là des conclusions les plus surprenantes de notre travail, les instruments généralement les plus combattus par les industriels ne sont pas forcément ceux qui leur sont le plus défavorables. Ainsi, les quotas distribués en proportion de la production réduisent le profit des firmes régulées davantage que ceux distribués de manière absolue, pour atteindre un objectif donné. En effet, seuls ces derniers permettent aux firmes régulées de bénéficier d'un effet de création de rente, qui leur permet de voir leurs profits croître, dans certaines configurations de concurrence et si les réductions d'émissions ne sont pas trop importantes. Cependant, les instruments les quotas distribués en proportion de la production réduisent les pertes de production par rapport aux autres modes d'allocation.

¹² *Environment Daily* 1574, 15/12/03 "Competitiveness test set for EU climate policy".

Par ailleurs, en cas d'incertitude sur le coût de réduction des émissions, les instruments de type prix offrent une flexibilité supplémentaire par rapport aux instruments de type quantité, pour les firmes prises dans leur ensemble : ces dernières peuvent réduire moins leurs émissions en cas de coût plus élevé que prévu, en payant davantage de taxe, ou émettre plus si le coût s'avère plus faible qu'anticipé, et payer moins de taxe, ou même recevoir une subvention. De ce fait, l'espérance de coût pour la firme est plus faible avec un instrument de type prix, pour une espérance de réduction d'émissions donnée.

Enfin, les instruments qui limitent le ratio émission/production, comme les quotas distribués en fonction de la production, apparaissent comme intermédiaires entre les quotas distribués de manière absolue et instruments prix, en ce qui concerne l'espérance de coût pour la firme comme en ce qui concerne l'espérance de bien-être social.

4.2. Analyse multisectorielle dans le cas du marché de quotas de CO₂ en Europe

A la lumière de la présente analyse, la compétitivité de l'industrie européenne semble peu menacée par la mise en œuvre de politiques climatiques même unilatérales, en tout cas si ces politiques entraînent un prix du CO₂ de l'ordre de celui prévu par le Programme européen contre le changement climatique (20 euros par tonne de CO₂, soit plus que les anticipations actuelles des marchés des gaz à effet de serre). Même en prenant les hypothèses les plus pessimistes en matière d'élasticité-prix des importations et des exportations, en négligeant toute possibilité de réduction des émissions et en supposant une vente des quotas sans recyclage des recettes, les pertes de chiffre d'affaire des producteurs européens ne dépassent 0,5 % que dans trois secteurs : les combustibles, les minéraux non métalliques et la sidérurgie. Prendre en compte les possibilités techniques de réduction des émissions et le recyclage des recettes par baisse des cotisations sociales patronales permet de réduire significativement ces impacts, qui deviennent inférieurs à 2 % du chiffre d'affaire dans tous les secteurs, toujours avec les hypothèses les plus pessimistes en matière d'élasticité-prix.

Cette analyse multisectorielle ne nous a cependant pas permis de chiffrer les impacts sur le profit, ce qui nécessite une modélisation secteur par secteur, que nous avons menée pour l'acier et le raffinage de pétrole.

4.3. Analyse appliquée à différents secteurs intensifs en énergie

Dans les deux secteurs que nous avons étudiés plus en détail, l'acier et le raffinage de pétrole, les impacts apparaissent proches, et cohérents avec le travail analytique mené précédemment.

Premier résultat important, les effets sur la compétitivité sont relativement mineurs : les pertes de production atteignent au maximum 4 à 5 %, sous les hypothèses les plus pessimistes : vente de l'intégralité des quotas aux enchères, prix de 20 euros par tonne de CO₂, élasticité-prix fortes du commerce extérieur... Les effets sur le profit en cas de vente aux enchères sont très différents selon les variantes, mais dans le pire des cas identifiés, il suffit de distribuer gratuitement de manière absolue 50 % des quotas pour que le profit ne diminue pas. Dans la plupart des cas, il suffit de distribuer une quantité encore bien inférieure de quotas gratuitement pour neutraliser l'effet sur le profit. Dans tous les cas, les impacts sur la compétitivité sont nettement plus limités que ceux des variations récentes du taux de change euro/dollar.

Les inquiétudes au sujet de la perte de compétitivité qu'entraînerait la directive apparaissent donc peu fondées.

Ensuite, un certain nombre d'amendements à cette proposition de directive destinés à prévenir les menaces sur la compétitivité industrielle pourraient en fait aggraver au moins certains aspects de celles-ci. Premièrement, la distribution des quotas en fonction de la production, proposée par plusieurs secteurs industriels, dégrade davantage le profit que la distribution gratuite forfaitaire (dans tous les cas) et même davantage que la vente aux enchères dans certains cas. Deuxièmement, la clause dite d'*opt-out*, par laquelle certains secteurs seraient exemptés de la directive, pourraient réduire la production et le profit dans la sidérurgie d'un pour cent, si elle est appliquée aux secteurs en concurrence avec l'acier.

Troisièmement, l'incertitude sur les coûts marginaux de réduction des émissions s'avère moins cruciale pour la compétitivité que celle sur les élasticités-prix du commerce extérieur et celle sur la forme de la courbe de demande. C'est donc dans cette direction que de nouvelles recherches devraient être menées.

Références

- Blok, K., D. de Jager, C. Hendriks (2001) *Comparison of 'Top-down' and 'Bottom-up' analysis of emission reduction opportunities for CO₂ in the European Union*, Rapport pour la Commission européenne
- Boemare C. and P. Quirion (2002), "Implementing greenhouse gas trading in Europe: Lessons from economic literature and international experience", *Ecological Economics*, 43(2-3): 213-230, December
- Campa et Gonzáles Mínguez (2002), *Differences in exchange rate pass-through in the Euro area*, IESE Working Paper No. D/479, Madrid, octobre
- Concawe (1999) *EU oil refining industry costs of changing gasoline and diesel fuel*
- Coppel J. et M. Durand (1999), "Trends in market openness", OECD, *Economic Department Working Papers*, 221
- Ebert U. (1998), "Relative standards: a positive and normative analysis", *Journal of Economics*, 67(1): 17-38
- Ellerman D. and I. Sue Wing (2003), *Absolute vs. Intensity Emission Caps*, MIT Joint Program on the Science and policy of Global Change Report No. 100
- Enerdata and FhG/ISI (2003), *Energy efficiency in the European Union 1999-2001*, Report for the SAVE-ODYSEE project on energy-efficiency indicators, Gières, France, June, available on <http://www.odyssee-indicators.org/Publication>
- Erkell-Rousse et Mirza (2002) "Import price elasticities: reconsidering the evidence", *Canadian Journal of Economics*, 35(2): 282-306
- Fischer C. (2001), *Rebating environmental policy revenues: Output-based allocations and tradable performance standards*, Resources for the Future Discussion paper 01-22
- Fouquin M. et al. (2001), *Sector sensitivity to exchange rate fluctuations*, CEPII Working paper 2001-11, novembre
- GTAP team (2002) *GTAP 5 Data Package Documentation*, Purdue university
- Hendriks, C., D. de Jager, J. de Beer, M. van Brummelen, K. Blok, M. Kerssemeeckers (2001) *Economic evaluation of emission reduction of greenhouse gases in the energy supply sector in the EU ; Bottom-up analysis*, Rapport pour la Commission européenne
- Jomini P. et al. (1991) *SALTER: A general equilibrium model of the world economy*, vol. 1, model structure, data base, and Parameters, Australia: Industry Commission
- Kolstad C.D. (2002), *Climate change policy: A view from the U.S.*, 10th symposium of the Egon-Sohmen foundation "Climate protection and emissions trading – U.S. and European views", Dresden, Germany, October 25-26
- Koutstaal P., A.M. Gielen and H. Vollerbergh (2002), "A comparison between emission trading with absolute and relative targets", 2nd CATEP workshop, UCL, 25-26 March, London
- Krugman (1994) "Competitiveness: A dangerous obsession", *Foreign Affairs*, mars/avril
- Philibert C. et J. Pershing (2002), *Beyond Kyoto. Energy Dynamics and Climate Stabilisation*, International Energy Agency, Paris
- Pizer W. (1999), "Optimal choice of climate change policy in the presence of uncertainty", *Resource and Energy Economics*, 21(3-4)

Pizer W. (2003), *Intensity targets in perspective*, IFRII-RFF Conference on post-Kyoto strategies, 19 March, Paris

Quirion, P. et O. Rolin (2003), *L'impact du futur marché de quotas d'émission de gaz à effet de serre sur la compétitivité de l'industrie européenne du raffinage*, CIRED

Roberts M. and M. Spence (1976), "Uncertainty and the choice of pollution control instruments", *Journal of Public Economics*, 5, April/May

Sijm J.P.M., K.E.L. Smekens, T. Kram, M.G. Boots (2002) *Economic effects of grandfathering CO₂ emissions allowances*, ECN, Pays-Bas

Stavins R. (1996), "Correlated uncertainty and policy instrument choice", *Journal of Environmental Economics and Management*, 30: 218-32

Weitzman M. (1974), "Prices vs. Quantities", *Review of Economic Studies*, 41(4): 447-91

Annexe I. Liste des publications de 2001 à 2003

Publications dans des revues à comité de lecture

1. "The evolution of emissions trading in the E.U: Tensions between national trading schemes and the proposed E.U. directive" (avec C. Boemare and S. Sorrell), *Climate Policy*, décembre 2003, Vol. 3, Supplement 2, pp S105-S124, December 2003
2. "Les coûts des politiques climatiques : pour calmer les terreurs d'un catastrophisme inversé" (avec J.-C. Hourcade), *Responsabilité et environnement – Annales des Mines*, janvier 2003, pp. 37-47
3. "Implementing greenhouse gas trading in Europe: Lessons from economic literature and international experience" (avec C. Boemare), *Ecological Economics*, 43(2-3), pp. 213-230, décembre 2002
4. "Marché international du carbone et double dividende : antinomie ou synergie ?" (avec F. Ghersi et J.-C. Hourcade), *Revue française d'économie*, XVI(2) pp. 149-177, octobre 2001

Articles en révision

5. "Prices vs. quantities in a second-best setting". En seconde révision dans *Environmental and Resource Economics*

Contributions à des colloques à comité de lecture

6. *Choosing a climate policy under cost uncertainty: intensity targets, absolute targets or international tax?*, Conférence "Climate Policy after 2012", Université de Gand, Belgique, 17-18 novembre 2003
7. *Relative emission caps: correct answer to uncertainty or poor compromise?*, Présenté au congrès annuel de l'Association française de science économique, Paris, 19 septembre 2003
8. *Relative quotas: correct answer to uncertainty or case of regulatory capture?*, European Association of Environmental and Resource Economics 12th Annual Conference, Bilbao, 27-30 juin 2003
9. *The competitiveness impact of a unilateral CO₂ abatement in Europe. A case study on the iron and steel industry*, European Council for an Energy-Efficient Economy 2003 Summer Study, St-Raphaël, 2-7 juin 2003
10. *The evolution of emission trading in the EU: Tensions between national trading schemes and the proposed EU directive*, OECD Global Forum on Sustainable Development: Emissions Trading, Paris, 17-18 mars 2003 (avec Catherine Boemare et Steven Sorrell)
11. *Can Europe afford non-global CO₂ emission trading? A case study on the iron and steel industry*, 3rd CATEP workshop "global trading", Kiel, Allemagne, 30 septembre-1^{er} octobre 2002
12. *Unequal Carbon Constraints and International Competition: A Real Issue?*, 19th MIT Global Change Forum, Paris, 12-14 juin 2002 (avec J.-C. Hourcade)
13. *Complying with the Kyoto Protocol under uncertainty: Taxes or tradable permits?*, 2nd World Congress of Environmental and Resource Economists, Monterrey, 23-27 juin 2002
14. *Macroeconomic effects of an energy saving policy in the public sector*, 7^e conférence biennale de l'International Society for Ecological Economics (ISEE), Sousse, Tunisie, 6-9

mars 2002

15. *Implementing an Emission Trading Program in the European Community – Lessons Learnt from International Experiences*, 1st CATEP workshop "Trading scales: Linking industry, local/regional, national and international emissions trading schemes", Fondazione Eni Enrico Mattei, Venice, 3-4 décembre 2001 (avec Catherine Boemare)
16. *Prices vs. quantities in a second-best setting*, Conférence annuelle de l'European Association of Environmental and Resource Economists, Southampton, 28-30 juin 2001
17. *Does an environmental government procurement policy yield a double dividend?*, European Council for an Energy-Efficient Economy 2001 Summer study, Mandelieu, 11-16 juin 2001
18. *Prices vs. quantities under a political acceptability constraint*, Colloque annuel du PIREE, "Les Instruments des Politiques Environnementales", Sophia-Antipolis, 5-6 avril 2001

Documents de travail à comité de lecture

19. *Relative emission caps: correct answer to uncertainty or case of regulatory capture?*, Fondazione Eni Enrico Mattei Nota di Lavoro 33.2003, avril
20. *Complying with the Kyoto Protocol under uncertainty: Taxes or tradable permits?*, Fondazione Eni Enrico Mattei Nota di Lavoro 69.2002, septembre
21. *Implementing an Emission Trading Program in the European Community – Lessons Learnt from International Experiences* (avec Catherine Boemare), Fondazione Eni Enrico Mattei Nota di Lavoro 35.2002, juin
22. *Macroeconomic effects of an energy saving policy in the public sector*, Fondazione Eni Enrico Mattei Nota di Lavoro 14.2002, janvier

Annexe II. Programme de la Journée de réflexion et de débat « Compétitivité et politique climatique » organisée par l'IFE et l'Iddri jeudi 15 janvier 2004

8h45 Accueil

9h00 – 9h15 *Introduction*, **Jean-Eudes Moncomble** (IFE) et **Laurence Tubiana** (Iddri)

9h15 - 12h Compétitivité et climat : questions transversales

Président : **Michel Colombier** (Iddri)

- *Effets économiques du futur marché de quotas de CO₂ en Europe*,
Patrick Criqui (LEPII-EPE, Grenoble) Discutant : **Emmanuel Martinez**
- *Qu'est-ce que la compétitivité, quels secteurs sont les plus sensibles ?*
Jean-Charles Hourcade (CIRED) Discutant : **Thomas Groh** (Minefi-DP)
- *L'effet sur la compétitivité des différents instruments des politiques d'environnement*
Philippe Quirion (SMASH-CIRED) Discutant : **Stéphanie Monjon** (Ademe)

12h – 13h15 Buffet

13h30 - 15h15 Présentations sectorielles

Président : **Jean-Eudes Moncomble** (IFE)

- *Electricity market impacts of the forthcoming EU CO₂ trading directive*,
Per Lekander (McKinsey) Discutant : **Jean-Paul Bouttes** (EDF)
- *Environmental policy in the steel industry: Using economic instruments*,
Nils-Axel Braathen (OCDE) Discutant : **Christophe Rynikiewicz** (Lepii-Epe)

15h15– 15h30 Pause

15h30-16h10 Présentations sectorielles (suite)

- *Impacts du marché de quotas de CO₂ en Europe sur la compétitivité de l'industrie européenne du raffinage*, **Philippe Quirion** (SMASH-CIRED) Discutant : **Paula Coussy** (IFP)
- *L'utilisation des mécanismes d'application conjointe dans l'industrie pétrolière amont en Russie*, **Alexandrina Platonova** (IFP) Discutant : **Véronique Massenet** (DREE)

16h15-17h30 Table ronde

Participants : **Richard Baron** (Iddri), **Jean-Paul Bouttes** (EDF), **Dominique Bureau** (MEDD), **Christian Egenhofer** (CEPS), **Olivier Godard** (Ecole polytechnique), **François Moisan** (Ademe) , **Patrick Nollet** (EPE)