

► DIRECTION DES ETUDES ECONOMIQUES ET DE L'EVALUATION
ENVIRONNEMENTALE

► DOCUMENT DE TRAVAIL

**EFFET DE SERRE :
QUANTIFICATION DE L'EFFORT
ECONOMIQUE PAR LES PARTIES DU
PROTOCOLE DE KYOTO**

Eve ROUMIGUIERES

**Série Etudes
N° 01-E05**



Site internet : <http://www.environnement.gouv.fr>
20 avenue de Ségur - 75302 Paris 07 SP

Quantification de l'effort économique par les Parties du Protocole de Kyoto.
Eve ROUMIGUIERES

La présente étude a été réalisée peu après que les Etats-Unis ont annoncé leur retrait du Protocole de Kyoto, alors que la plus grande incertitude régnait quant à la réussite de la seconde partie de la sixième Conférence des Parties (Bonn).

Dans un contexte où l'équité, notamment économique, du Protocole était évoquée, cette étude était un exercice d'évaluation des conséquences, en termes de coût, d'une renégociation éventuelle des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre, initialement définis dans le cadre du Protocole de Kyoto pour toutes les Parties de l'annexe B de ce protocole.

Si cette question se pose avec une moindre acuité aujourd'hui, l'étude n'en fournit pas moins un angle d'approche intéressant pour aborder le problème de la fixation des objectifs de réduction, par exemple pour de futures périodes d'engagement.

Cette étude constitue, par ailleurs, une utilisation originale de la maquette développée au sein de la D4E, dénommée SAGESSE (Simulation des allocations de gaz à effet de serre et de leurs systèmes d'échange). En explorant la possibilité de revenir sur l'hypothèse initiale que constituent les objectifs de Kyoto, elle apporte une vision différente de l'utilisation classique des modèles de simulation d'un marché international de permis ou de façon plus générale du monde contraint par Kyoto.

Cette étude présente en premier lieu une quantification de l'effort requis par les Parties afin d'appliquer le protocole de Kyoto, avec ou sans recours à un marché de permis. L'indicateur d'effort économique utilisé, dénommé taux d'effort, est le rapport du coût total du respect de l'objectif environnemental par une Partie au Produit Intérieur Brut de cette Partie en 2010. L'étude explore ensuite des scénarios de fixation d'objectifs environnementaux différents de ceux de Kyoto, sous diverses contraintes : plafonnement ou harmonisation des taux d'effort des Parties, respect d'un objectif environnemental global identique à celui de Kyoto.

L'utilisation des taux d'effort, comme outil de comparaison entre les différents pays de l'Annexe B, permet de mettre en évidence de nombreux résultats.

Un plafonnement des taux d'effort permet effectivement de réduire la contrainte financière de certains pays. Néanmoins, la modification des objectifs de réduction non compensée pose le problème de l'intégrité environnementale.

Si l'on désire respecter l'objectif global de réduction de l'ensemble des pays de l'Annexe B, on constate que l'homogénéisation sous cette contrainte du taux d'effort donne un taux variant du simple au triple (0,04% ou 0,13%), selon que l'on modifie ou non l'objectif de la Fédération de Russie. Pourtant, le cas où tous les taux d'efforts sont homogènes est le plus intéressant car le plus différent des autres scénarios et singulièrement de celui de Kyoto. En effet, les quantités d'émissions échangées sont très faibles, peu de pays devant réellement recourir au marché d'échanges de permis d'émissions négociables. De plus, à taux d'effort identique pour toutes les Parties, si l'Union Européenne doit toujours réduire ses émissions de gaz à effet de serre, ce n'est plus le cas de la partie de l'Ombrelle constituée des Etats-Unis, du Canada, du Japon, de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande, alors que les objectifs de réduction fixés par le Protocole de Kyoto de ces deux ensembles de pays sont relativement semblables.

En conclusion, les efforts économiques résultant de l'application du Protocole de Kyoto sont très variables selon les Parties considérées. Une modification des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre aurait un impact non négligeable sur les gains environnementaux, mais aussi sur la répartition des coûts entre Parties. Toute modification des objectifs de réduction, si l'on veut sauvegarder un gain environnemental conforme à celui de Kyoto, pose avec acuité le problème de la Fédération de Russie et donc celui du hot air russe.

Ce document n'engage que ses auteurs et non les institutions auxquelles ils appartiennent. L'objet de cette diffusion est de stimuler le débat et d'appeler des commentaires et des critiques.

SOMMAIRE

<u>INTRODUCTION</u> -----	7
<u>1. HETEROGENEITE DES EFFORTS REQUIS PAR L'APPLICATION DU PROTOCOLE DE KYOTO</u> -----	8
<u>1.1. L'évolution récente des émissions de gaz à effet de serre</u> -----	8
<u>1.2. Le coût de l'application du Protocole de Kyoto</u> -----	10
1.2.1. <u>Réductions effectuées en interne et sans prise en compte des puits</u> -----	11
1.2.2. <u>L'impact de l'introduction d'un marché de permis d'émissions négociables</u> -----	13
1.2.3. <u>La prise en compte des puits de carbone</u> -----	16
<u>2. MODIFICATION DES OBJECTIFS EN FONCTION DES TAUX D'EFFORT</u> -----	20
<u>2.1. Plafonnement des taux d'effort : allègement de la contrainte et perte en terme de gain environnemental</u> -----	20
2.1.1. <u>Plafonnement des taux d'effort à hauteur de celui de l'Union Européenne (0,07 %)</u> -	20
2.1.2. <u>Plafonnement des taux d'effort à hauteur des efforts moyens de l'Annexe B (0,04 %)</u>	23
<u>2.2. Homogénéisation des taux d'effort avec respect de l'intégrité environnementale</u> ----	24
2.2.1. <u>Un taux d'effort homogène à 0,04 %</u> -----	24
2.2.2. <u>Un taux d'effort homogène à 0,13 %, sauf pour la Fédération de Russie</u> -----	26
<u>LISTE DES GRAPHIQUES</u> -----	30

1. INTRODUCTION

En 1997, dans le but de lutter contre le changement climatique, de nombreux pays ont participé à la rédaction du Protocole de Kyoto au travers duquel ils s'engageaient à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre. Dans un contexte¹ où l'équité, notamment économique, du Protocole est évoquée, cette étude se veut un exercice d'évaluation des conséquences en terme de coût d'une renégociation des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre, initialement définis dans le cadre du Protocole de Kyoto.

Ces émissions de gaz à effet de serre doivent être réduites en 2008-2012 d'environ 5 % pour l'ensemble de ces pays par rapport à celles de 1990. Or, entre 1990 et aujourd'hui, les différents pays ont connu des évolutions contrastées en terme de croissance mais aussi en ce qui concerne leurs émissions de gaz à effet de serre et les efforts économiques requis par les pays de l'Annexe B sont, de ce fait et d'un point de vue strictement économique, sensiblement différents.

L'introduction dans le Protocole de Kyoto, au titre des mécanismes de flexibilité, d'un marché d'échanges de permis d'émissions négociables devait permettre d'alléger la contrainte économique pesant sur les différents pays. Dans un deuxième temps, l'introduction des puits de carbone, âprement discutée à La Haye en novembre 2000, avait pour effet d'harmoniser ces efforts tout en allégeant encore la contrainte financière, cette fois-ci en modifiant l'objectif de réduction. Néanmoins, le respect des objectifs du Protocole de Kyoto (avec ou sans puits de carbone), met en évidence une disparité des efforts économiques requis par les différents pays concernés.

Le but de cette étude est d'étudier les impacts sur le gain environnemental et les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre d'une modification des efforts requis tout d'abord en les plafonnant puis en les homogénéisant. Les résultats obtenus devraient alors mettre en évidence des écarts entre ces scénarios en terme de gain environnemental, objectif de réduction requis ou échanges de permis mais aussi des différences de comportement entre les groupes de pays de l'Annexe B².

¹ Cette étude a pour la première fois été présentée en mai 2001, alors que les Etats-Unis avaient annoncé leur retrait du Protocole de Kyoto, et que la plus grande incertitude régnait quant à la réussite de CoP6bis.

² Les pays dits de l'Annexe B sont les pays qui se sont engagés à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre, engagement décrit quantitativement dans l'Annexe B du Protocole de Kyoto. Ces pays sont :

- ◇ l'Union Européenne à quinze : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Italie, Luxembourg, Pays-Bas, Portugal, Royaume Uni, Suède.
- ◇ le reste de l'Europe de l'Ouest : Islande, Liechtenstein, Monaco, Norvège, Suisse.
- ◇ le groupe constitué de : Pologne, Hongrie, République Tchèque, Slovaquie.
- ◇ la Fédération de Russie.
- ◇ le reste de l'Europe centrale : Bulgarie, Croatie, Estonie, Lettonie, Lituanie, Roumanie, Slovaquie, Ukraine.
- ◇ les pays de l'Ombrelle : Australie, Canada, Etats Unis, Japon, Nouvelle Zélande. De par la classification employée dans Pôles et les résultats obtenus, les trois autres pays qui constituent le groupe de négociation de l'Ombrelle sont classés dans les groupes précédents. Ces pays sont la Fédération de Russie, l'Ukraine et la Norvège.

2. Hétérogénéité des efforts requis par l'application du Protocole de Kyoto

2.1. L'évolution récente des émissions de gaz à effet de serre

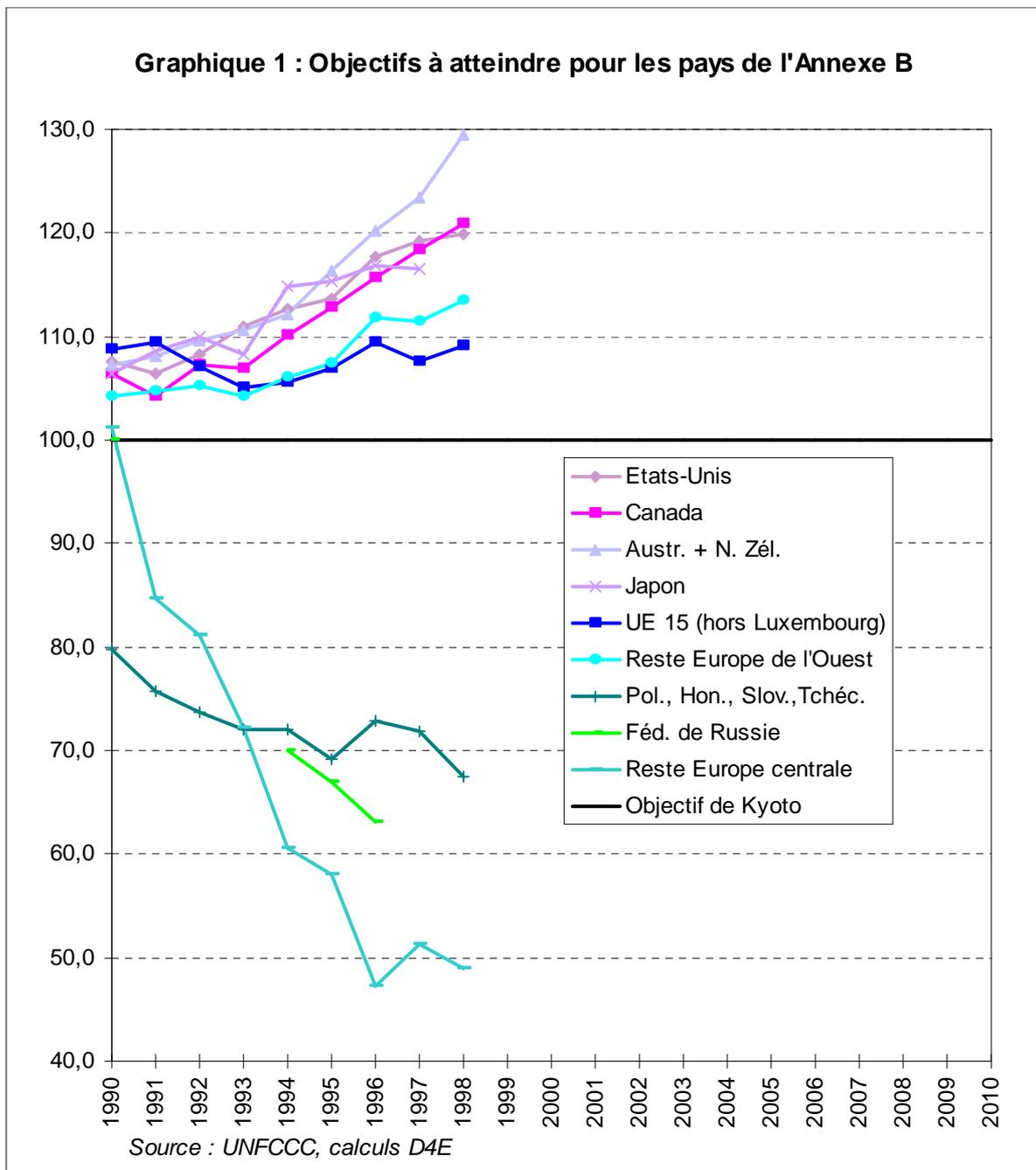
Afin de présenter au mieux les disparités constatées aujourd'hui en termes d'effort économique entre les différents pays ou groupes de pays de l'Annexe B, l'observation des sentiers de croissance de leurs émissions respectives de gaz à effet de serre est essentielle.

En effet, ceux-ci ont été relativement différents, selon les pays de l'Annexe B, ces dernières années. Les montants d'émissions en jeu sont aussi extrêmement inégaux et fortement corrélés à la taille du pays ou de la région considérée. Parmi les plus gros émetteurs de gaz à effet de serre se trouvent les Etats-Unis, la Fédération de Russie, l'Union Européenne (15 pays) et l'Ukraine. Certains des pays ont été regroupés en raison de l'absence de données individuelles et le regroupement de certains pays entre eux met en évidence (Cf. : graphique 1) deux blocs :

- ◇ certains pays d'Europe centrale de l'Est qui ont connu une forte récession industrielle au cours de la période considérée³ et qui, *a priori*, n'auront que peu ou pas d'efforts à faire afin de respecter leur engagement,
- ◇ les autres pays de l'Annexe B dont les émissions ont crû régulièrement et pour lesquels, visiblement, des efforts devront être entrepris afin de pouvoir respecter leur engagement.

³ En l'absence de données récentes sur les émissions de gaz à effet de serre en Fédération de Russie, il existe différentes projections sur cette quantité. Dans les données exogènes utilisées de Pôles, la quantité de «hot air» russe est de 324 millions de tonnes de carbone, pour le modèle EPPA du MIT, elle est d'environ 150 MtC.

Graphique 1: Objectifs à atteindre pour les pays de l'Annexe B



Note de lecture du graphique : L'objectif de Kyoto à atteindre en 2010 est fixé à 100 pour tous les pays. Si l'on prend pour hypothèse de ne comptabiliser que le dioxyde de carbone⁴ et que l'objectif de Kyoto n'est basé que sur lui, alors en 1990, les émissions de CO₂ des Etats-Unis représentent 107,5 % du niveau défini comme objectif en 2010. En 1998, elles en représentent 119,9 % soit 19,9 % au-dessus de l'objectif fixé.

⁴ Seules sont reprises dans cette étude les émissions de dioxyde de carbone qui représentent, pour l'ensemble des pays étudiés, une part importante des émissions de gaz à effet de serre. En effet, les données de Pôles utilisées par la suite ne prennent en compte que ce seul gaz et, pour des raisons d'homogénéisation entre les différentes parties de cette étude, seul ce gaz est considéré.

2.2. Le coût de l'application du Protocole de Kyoto

Les données utilisées dans cette étude sont des projections de croissance fournies par le modèle Pôles et ne concernent que le dioxyde de carbone. Le modèle Pôles de l'IEPE permet en effet d'estimer des courbes de coût d'abattement, autrement dit de relier un potentiel de quantité de réduction des émissions aux sommes qui sont dépensées pour obtenir ce résultat. Outre les habituelles précautions à prendre lors de prévisions, les coûts ainsi fournis sont biaisés : d'une part à la baisse, puisque les coûts présupposent que la mise en œuvre des mesures de réduction est parfaitement efficace (les mesures sont entreprises en ordre de coût marginal croissant), et d'autre part à la hausse, puisque l'on a négligé les autres gaz à effet de serre. Or, certaines de ces émissions peuvent être réduites à des coûts relativement modestes, et l'on peut espérer que ces actions seront entreprises d'autant que leur pouvoir de réchauffement global est élevé.

Le coût de l'application du Protocole de Kyoto est, pour chaque pays, le coût de l'effort de réduction effectué sur son sol, corrigé éventuellement des achats ou des ventes de permis. Pour obtenir ces coûts, la maquette SAGESSE est mobilisée. Puis pour normer les résultats, ils sont rapportés au PIB du pays considéré.

A priori si les objectifs de réduction peuvent paraître relativement semblables pour certains pays (-7 % par rapport à 1990 pour les Etats-Unis et -8 % pour l'Union Européenne), leur traduction économique met en avant de grandes différences.

Définitions utilisées :

Dans cette étude deux concepts sont utilisés : le gain environnemental et le taux d'effort.

- ◇ **Le gain environnemental est le pourcentage de réduction des émissions de gaz à effet de serre de l'ensemble des pays de l'Annexe B.** Dans le cadre du Protocole de Kyoto, l'ensemble des pays de l'Annexe B s'est engagé à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 5,2 % par rapport à leur niveau de 1990 (moyenne des objectifs de réduction de chacun de ces pays pondérée en fonction de leurs montants d'émission). Depuis, les données fournies par les différents pays pour l'année 1990 ont été sujettes à des révisions. Si les objectifs de réduction restent identiques pour les différents pays, ils ne concernent plus exactement le même nombre de millions de tonnes de carbone et subséquemment le gain environnemental associé à l'application et au respect des engagements pris n'est plus exactement le même à quelques dixièmes près. En raison des différentes révisions ayant affecté ces montants et les données utilisées dans ce modèle n'utilisant que le dioxyde de carbone et non l'ensemble des gaz à effet de serre, le gain environnemental dans cette étude, pour les scénarios reprenant les objectifs de Kyoto, est de 4,7 %.
- ◇ **Le taux d'effort est le coût des réductions d'émissions de gaz à effet de serre rapporté au produit intérieur brut de 2010.** Cet indicateur est utilisé tout au long de l'étude en tant qu'indicateur de comparaison des coûts relatifs des différents pays de l'Annexe B. Il est d'ailleurs utilisé couramment pour comparer les résultats des différents modèles de simulation. Néanmoins, il ne traduit pas un concept d'équité au sens strict du terme puisqu'il ne concerne que des données économiques sans dimension sociale comme le bien-être ou le nombre d'habitants des pays considérés.

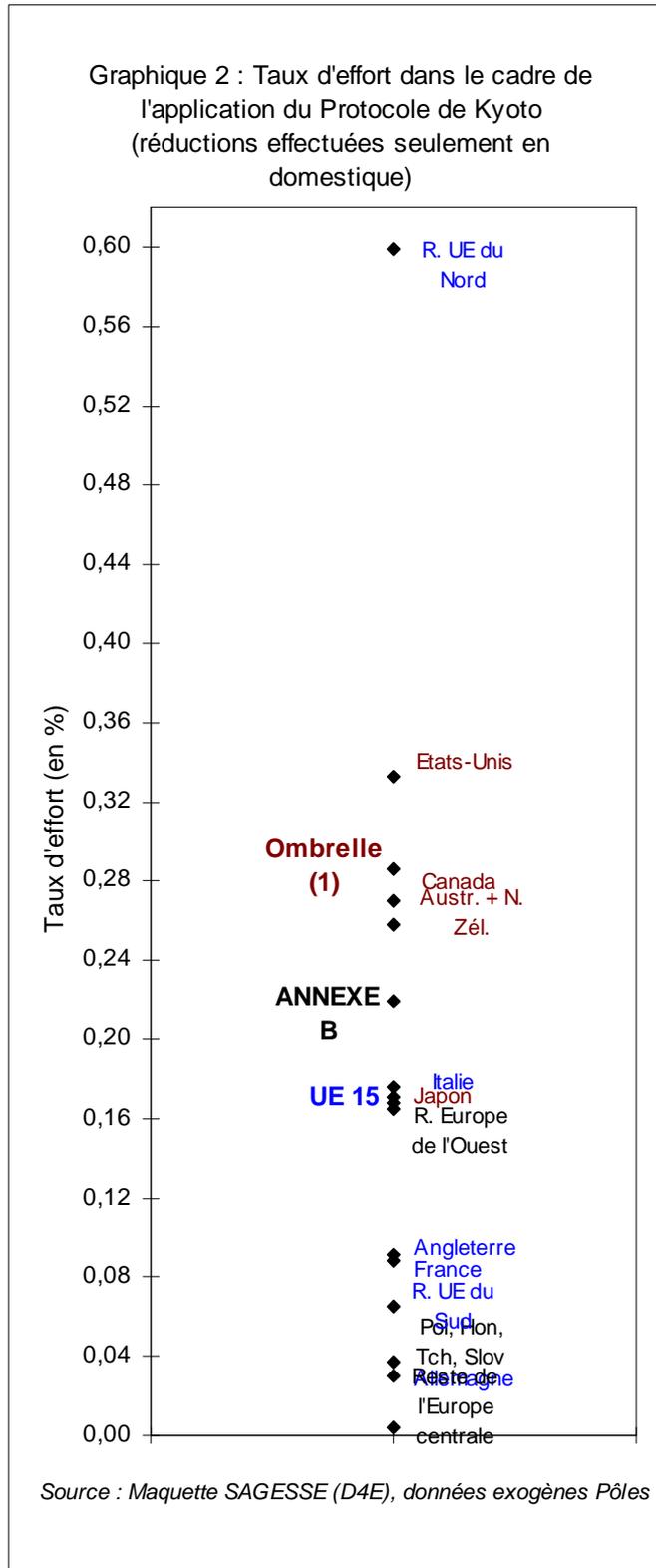
2.2.1. Réductions effectuées en interne et sans prise en compte des puits

Le respect sur le sol national des engagements pris lors du Protocole de Kyoto induit pour chaque pays un coût de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Ces coûts sont sensiblement différents selon les pays considérés (Cf. graphique 2).

En effet, le respect des objectifs du Protocole de Kyoto, met en évidence une disparité en terme de taux d'effort pour les différentes régions : ce taux d'effort varie de 0,04 % pour le groupe composé de la Pologne, de la Hongrie, de la République Tchèque et de la Slovénie (voire 0 % pour la Fédération de Russie et le reste de l'Europe centrale), à 0,33 % pour les Etats-Unis.

De premières différences apparaissent en terme de taux d'effort entre l'Ombrelle (Etats-Unis, Canada, Japon, Australie et Nouvelle Zélande) et l'Union Européenne, le premier groupe présentant un taux supérieur. Néanmoins, à l'intérieur de ces deux groupes, la situation est loin d'être uniforme. En effet, parmi les pays de l'Ombrelle, le taux d'effort du Japon est plus proche de celui de l'Union Européenne dans son ensemble que de celui des Etats-Unis, par exemple. De même, alors que le taux d'effort de l'Union Européenne s'établit à 0,17 %, celui des pays de l'Union Européenne du Nord serait de 0,6 %, le taux le plus élevé. Ces deux ensembles de pays ne sont pas totalement homogènes dans leur composition mais pour la majorité de leurs membres, la situation de chacun de ces groupes de pays est suffisamment différenciée pour que l'analyse de leurs différences au travers des cas successifs soit possible.

Graphique 2 : Taux d'effort si les réductions sont effectuées en interne seulement



Précision : La Fédération de Russie n'est pas représentée sur ce graphique car son engagement au titre du Protocole de Kyoto est, en raison de la crise industrielle que ce pays a connu ces dernières années, d'ores et déjà respecté (-36 % en 1996 par rapport aux émissions de 1990, son engagement étant de 0 % de réduction). En interne, la Fédération de Russie n'a donc aucune réduction à faire, son niveau de réduction étant déjà atteint.

2.2.2. L'impact de l'introduction d'un marché de permis d'émissions négociables

Dans le cadre du Protocole de Kyoto, l'introduction d'un marché de permis d'émissions négociables permet de desserrer la contrainte géographique, et autorise un pays à se prévaloir de réductions d'émissions effectuées en dehors de son sol. **Ce cas sera utilisé comme point de comparaison tout au long de l'étude. Il s'agit de la situation dite de référence.**

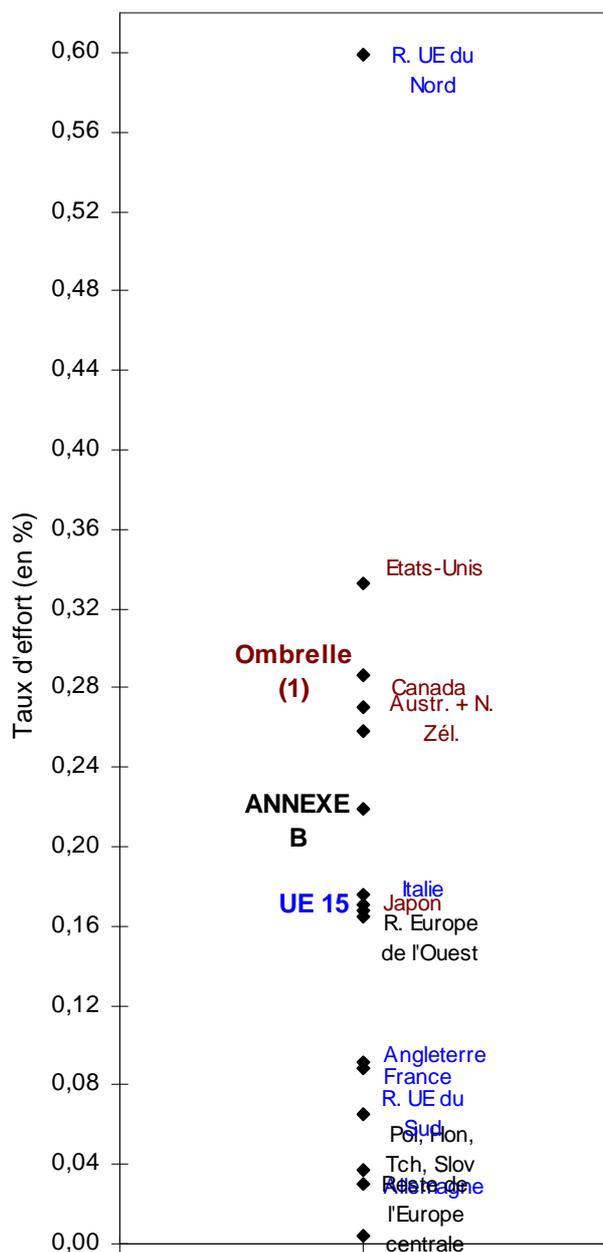
Tout au long de cette étude, est utilisée la maquette SAGESSE (Simulation des Allocations de Gaz à Effet de Serre et de leur Système d'Echanges) qui est développée à la Direction des Etudes Economiques et de l'Evaluation Environnementale (D4E) du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Sa logique de construction s'appuie sur un arbitrage économiquement rationnel effectué par chacun des pays concernés entre les réductions effectuées en interne ou par le biais du marché. En effet, les pays potentiellement acheteurs effectuent des réductions en interne jusqu'au niveau du prix d'équilibre du marché. Au-dessus de ce prix, il paraît plus intéressant d'acheter alors des permis d'émissions négociables. Dans le cadre d'un pays potentiellement vendeur, cette flexibilité lui permet d'effectuer éventuellement en interne quelques réductions supplémentaires à un prix inférieur à ce prix d'équilibre afin de pouvoir négocier ce surplus par le biais du marché d'échanges. Dans les deux cas, l'arbitrage se fait par le biais des courbes de coût d'abattement⁵, qui définissent pour chaque pays la quantité de réduction d'émissions de dioxyde de carbone réalisable pour un prix donné.

Le marché d'échange de permis d'émissions négociables modélisé ici l'est sans aucune limitation, plafond ou taxation. Afin de faciliter les comparaisons entre les différents pays de l'Annexe B, le mécanisme de développement propre (MDP) n'est pas pris en compte alors qu'il conduirait à abaisser les coûts.

5 Les courbes de coût d'abattement utilisées dans SAGESSE sont ~~estimées~~ ~~approximées~~ à partir des données fournies par le modèle Pôles de l'Institut économique des politiques de l'énergie (IEPE). La maquette SAGESSE fera l'objet d'un document de travail de la D4E pour préciser sa spécification et présenter quelques variantes.

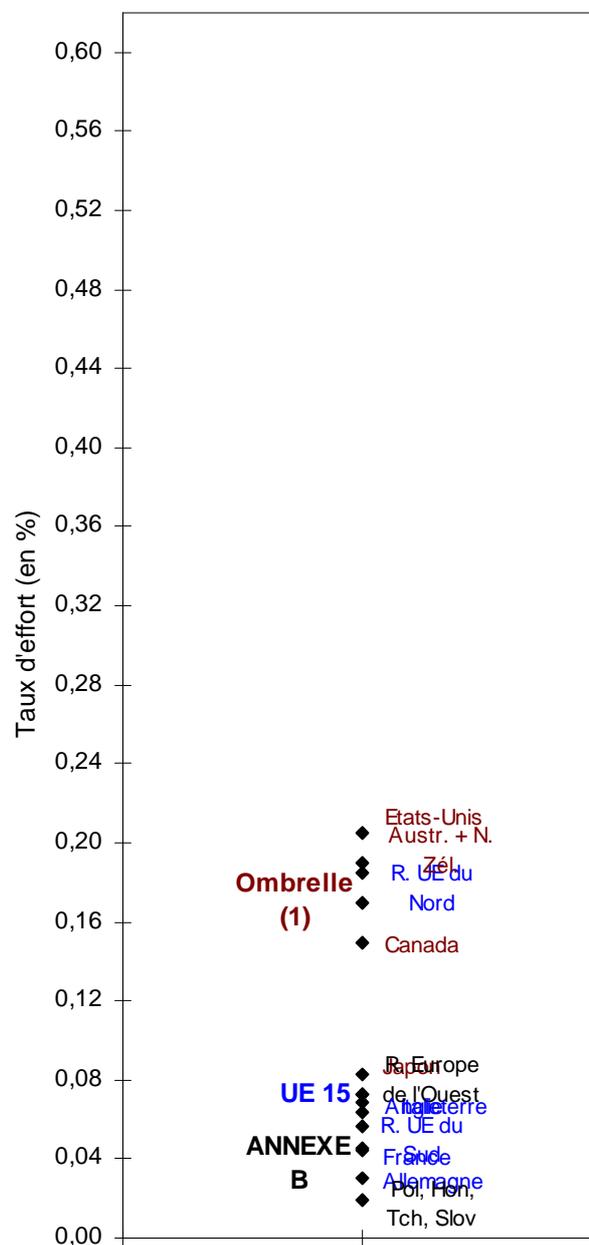
Graphiques 2 et 3a : Taux d'effort sans et avec marché

Graphique 2 : Taux d'effort dans le cadre de l'application du Protocole de Kyoto (réductions effectuées seulement en domestique)



Source : Maquette SAGESSE (D4E), données exogènes Pôles

Graphique 3a : Taux d'effort dans le cadre de l'application du Protocole de Kyoto avec marché de permis dans l'annexe B (situation de référence)

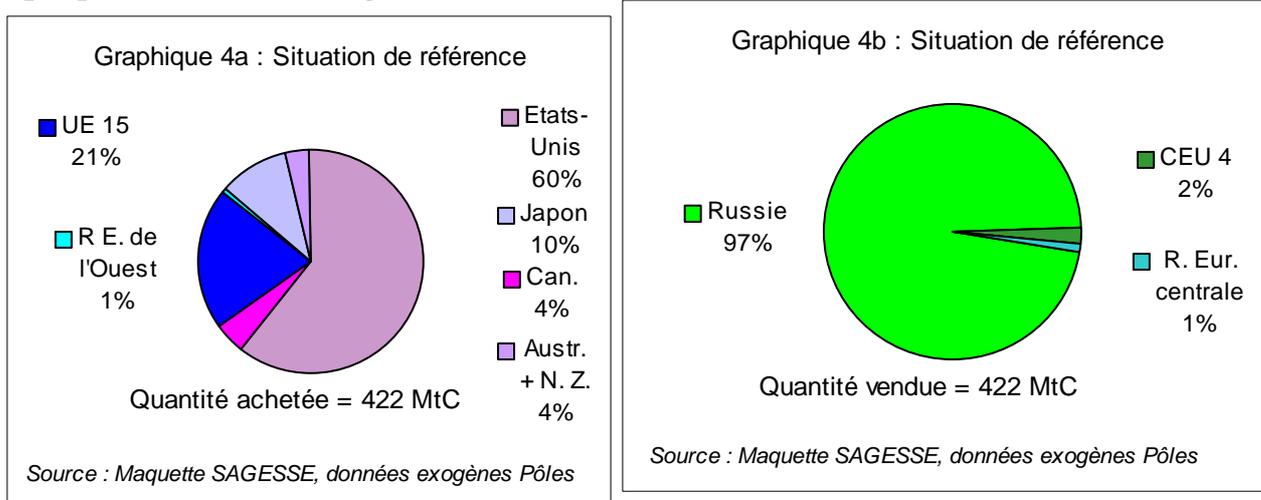


Source : Maquette SAGESSE (D4E), données exogènes Pôles

Précisions : Ni la Fédération de Russie, ni le reste de l'Europe centrale ne sont représentés sur ces graphiques. Ces pays sont les seuls vendeurs nets sur le marché de permis d'émissions négociables, et leur gain en terme de PIB pour 2010 s'établit respectivement à 1,3 et 0,5 points.

L'introduction du marché d'échanges de permis d'émissions négociables permet effectivement, par rapport au cas précédent, de réduire les coûts. Les disparités économiques entre les pays de l'Annexe B sont réduits car variant de 0,02 % pour l'ensemble de la Pologne, de la Hongrie, de la République Tchèque et de la Slovénie à 0,2 % pour les Etats-Unis (l'intervalle était précédemment 0 - 0,33 % voire 0,6 % pour les pays de l'Union Européenne du Nord). Ainsi pour l'ensemble de l'Annexe B, le taux d'effort s'établit à 0,04 point du PIB de 2010 (il inclut la Fédération de Russie) et à 0,07 point pour l'ensemble de l'Union Européenne. Il est de 0,2 point pour les Etats-Unis.

Graphiques 4a et 4b : Echanges dans la situation de référence



En ce qui concerne les échanges de permis, ceux-ci portent sur 422 millions de tonnes de carbone. La Fédération de Russie est le principal vendeur net (97 % du marché) et se trouve en situation de quasi-monopole. Le prix d'équilibre du marché, soit 51 dollars de 1990 par tonne de carbone, ne peut s'établir alors que si ce pays accepte les règles de ce marché et y participe.

Les Etats-Unis (60 %) et l'Union Européenne (21 %) sont les principaux acheteurs sur le marché.

L'introduction du marché de permis a pour effet de réduire les écarts entre les coûts relatifs sans remettre en cause le résultat environnemental, mais les coûts restent néanmoins disparates.

2.2.3. La prise en compte des puits de carbone

La prise en compte des puits de carbone permet de desserrer la contrainte pesant sur les pays de l'Annexe B par le biais des objectifs de réduction. Les modifications introduites par les puits sont plus importantes pour les pays de l'Ombrelle que les autres (Cf. tableau 1), et leur introduction devrait donc aller dans le sens d'une réduction des disparités de taux d'efforts.

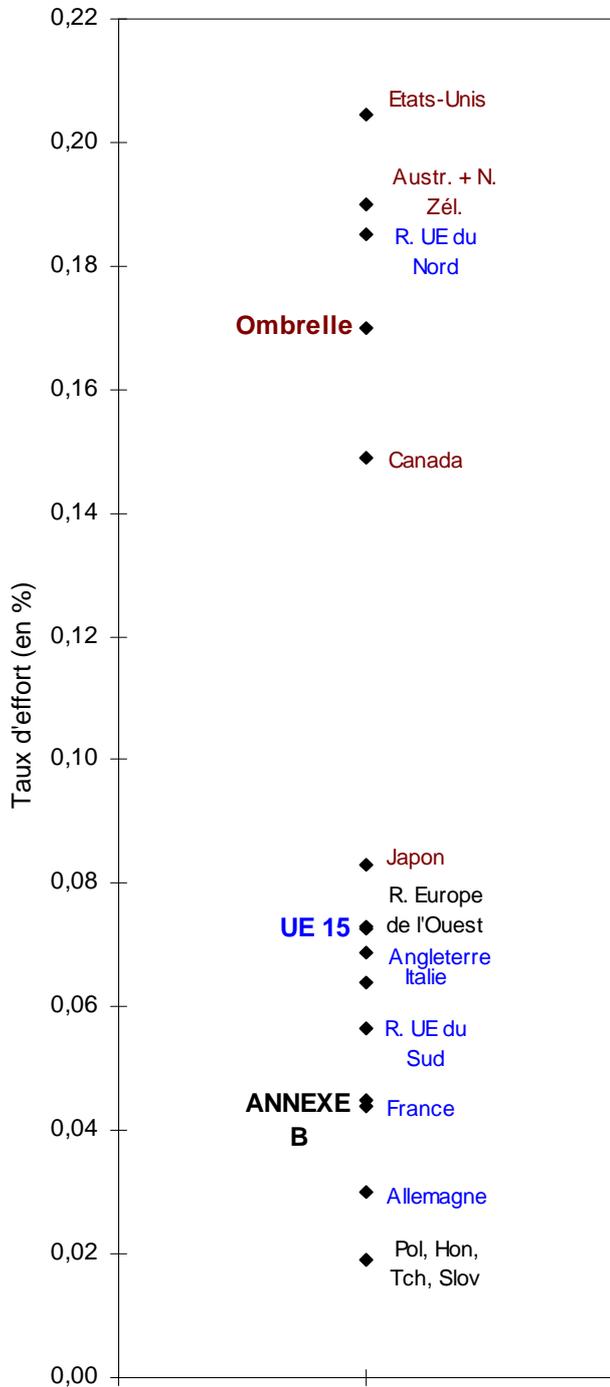
Les règles de prise en compte des puits de carbone ainsi que les données chiffrées utilisées dans cette étude sont identiques à celles issues de la dernière conférence des parties ayant eu lieu en juillet 2001 à Bonn (COP6bis).

Ce rééquilibrage joue évidemment sur l'offre et la demande de permis d'émissions négociables. L'offre de permis augmente mais en moindre proportion que la demande. Ainsi, le prix d'équilibre du marché est légèrement inférieur (de \$51 à \$46). De plus, pour le total de l'Annexe B, le gain environnemental passe alors d'une réduction globale de 4,7 % à une réduction de 3,8 %.

Cette prise en compte des puits de carbone a donc mécaniquement pour effet une baisse du taux d'effort pour certains pays. Néanmoins, si l'amplitude observée est moins importante que dans le cadre de référence (cas précédent), les écarts restent relativement élevés (Cf. graphiques 3b et 5).

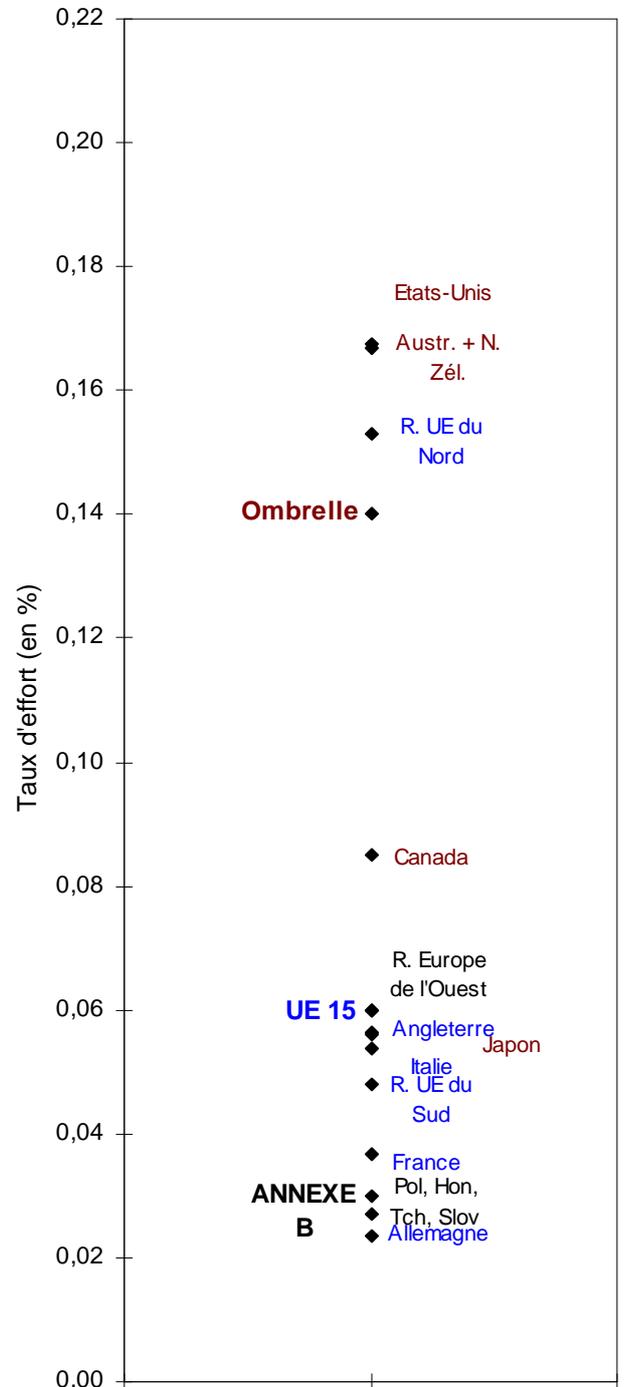
Graphiques 3b et 5: Taux d'effort avec marché, en cas de prise en compte ou non des puits

Graphique 3b : Taux d'effort dans le cadre de l'application du Protocole de Kyoto avec marché de permis dans l'annexe B (situation de référence)



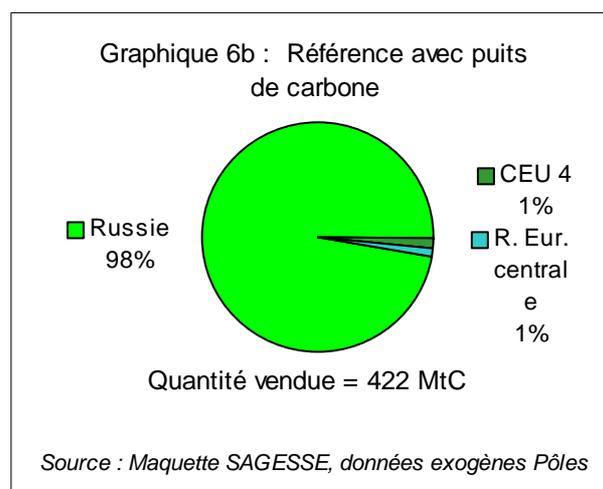
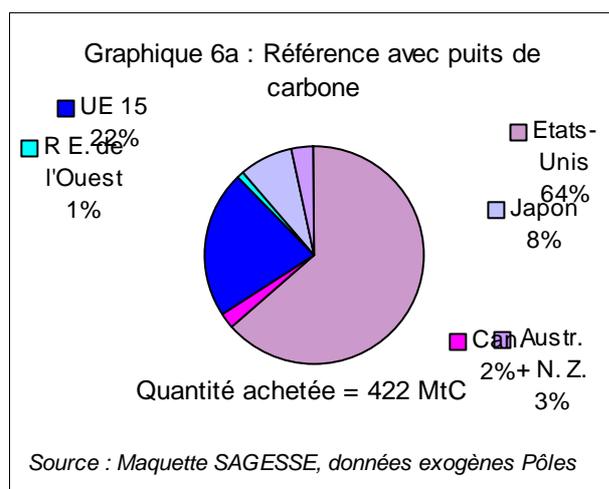
Source : Maquette SAGESSE (D4E), données exogènes Pôles

Graphique 5 : Taux d'effort dans le cadre de l'application du Protocole de Kyoto avec marché de permis dans l'annexe B (situation de référence) et puits de carbone



Source : Maquette SAGESSE (D4E), données exogènes Pôles

Graphiques 6a et 6b : Echanges avec prise en compte des puits



En ce qui concerne les échanges de permis, ceux-ci concernent toujours 422 millions de tonnes de carbone et la répartition des échanges reste relativement stable.

Tableau 1 : Application des objectifs de Kyoto

Pays ou région	Réductions en interne		Kyoto et marché de permis		Avec puits de carbone	
	Objectif de Kyoto	Taux d'effort	Objectif de Kyoto	Taux d'effort	Objectif de réduction	Taux d'effort
Etats Unis	-7,0%	0,33%	-7,0%	0,20%	-3,7%	0,14%
Canada	-6,0%	0,27%	-6,0%	0,15%	+5,1%	0,05%
Union Européenne	-8,4%	0,17%	-8,4%	0,07%	-6,8%	0,05%
<i>dont France (répartition bulle européenne)</i>	0,0%	0,09%	0,0%	0,05%	+1,6%	0,03%
Reste de l'Europe de l'Ouest	-4,1%	0,16%	-4,1%	0,07%	+0,1%	0,04%
Pol, Hon, Tchéc, Slov	6,8%	0,04%	6,8%	0,02%	+8,6%	0,02%
Reste de l'Europe centrale (Annexe B)	-3,3%	0,00%	-3,3%	-0,05%	-1,4%	-0,04%
Fédération de Russie (Annexe B)	0,0%	0,00%	0,0%	-1,31%	3,1%	-0,9%
Japon	-6,0%	0,17%	-6,0%	0,08%	-1,1%	0,05%
Australie+Nouvelle Zélande	6,8%	0,26%	6,8%	0,19%	14,5%	0,11%
Ombrelle ⁽¹⁾	-6,2%	0,29%	-6,2%	0,17%	-2,0%	0,11%
Annexe B	-4,7%	0,22%	-4,7%	0,04%	-1,4%	0,02%
Prix du permis en \$90 par tonne de carbone				50,9		34,8

(1) en raison des regroupements des différents pays au sein de Pôles, les pays ici comptabilisés sont les Etats-Unis, le Canada, le Japon, l'Australie et la Nouvelle Zélande.

Source : Maquette SAGESSE (D4E), données exogènes Pôles

Au vu des résultats obtenus précédemment, le recours aux mécanismes de flexibilité permet de réduire l'amplitude des écarts entre les taux d'effort constatés pour les pays de l'Annexe B dont les émissions sont supérieures à celles prévues dans le Protocole de Kyoto. Des différences subsistent néanmoins. En particulier, même en prenant en compte les mécanismes de flexibilité et les puits de carbone, le taux d'effort moyen d'une partie des pays

constituant l'Ombrelle (Etats-Unis, Canada, Japon, Australie et Nouvelle Zélande) est de 0,11 point alors que celui de l'Union Européenne s'élève à 0,05.

3. Modification des objectifs en fonction des taux d'effort

Les taux d'effort calculés précédemment résultent directement des objectifs de réduction fixés par le Protocole de Kyoto. Si l'on inverse le raisonnement, et que l'on fixe directement les taux d'effort de certains pays, les objectifs de réduction individuels vont s'en ressentir, mais sans doute aussi le gain environnemental (ensemble des réductions des pays de l'Annexe B). Deux cadres d'analyse ont été traités :

- ◇ dans un premier temps, une logique purement économique a prévalu, et les taux d'effort ont été plafonnés tout d'abord au niveau de celui de l'Union Européenne dans son ensemble (pour les pays pour lesquels celui-ci était plus élevé), puis au niveau de celui de l'ensemble des pays de l'Annexe B,
- ◇ dans un deuxième temps, une logique environnementale a prévalu, et tous les taux d'effort ont été homogénéisés tout en respectant la contrainte environnementale globale fixée par le Protocole de Kyoto. Autrement dit, l'étude a envisagé la possibilité de renégocier les engagements de Kyoto au sein d'une bulle à la dimension de l'Annexe B.

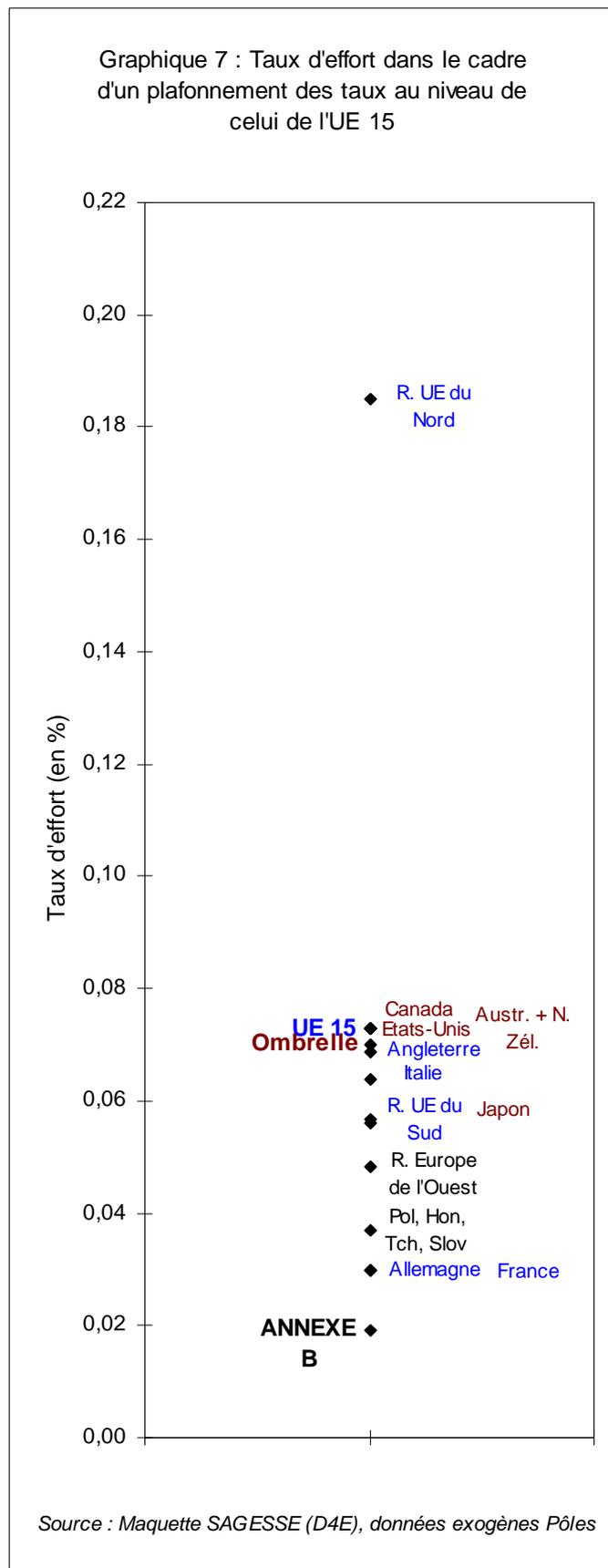
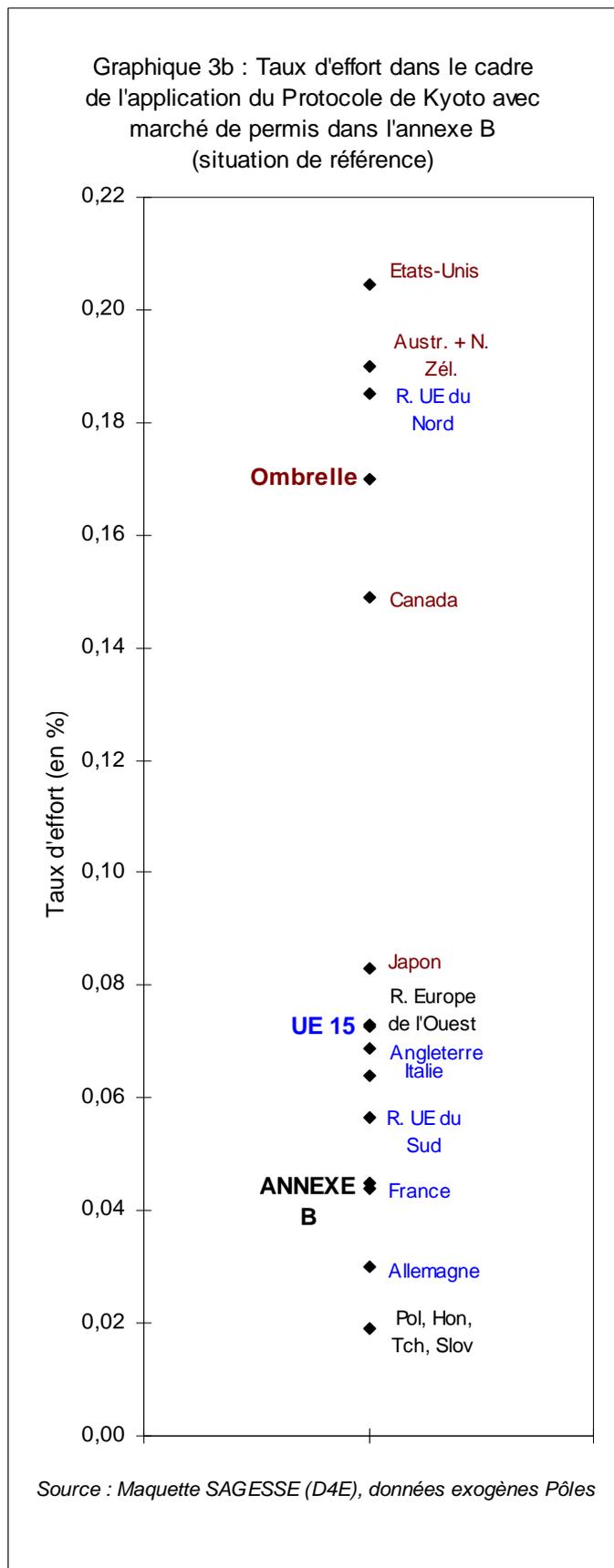
3.1. Plafonnement des taux d'effort : allègement de la contrainte et perte en terme de gain environnemental

3.1.1. Plafonnement des taux d'effort à hauteur de celui de l'Union Européenne (0,07 %)

Une première possibilité étudiée, et qui peut être envisagée favorablement en termes d'équité, consiste à abaisser le taux d'effort des pays de l'Ombrelle au même niveau que celui de l'Union Européenne, soit 0,07 %. Ce plafonnement du taux d'effort concerne les Etats-Unis, le Canada, l'Australie et la Nouvelle Zélande. Le gain environnemental est alors cependant inférieur à celui décidé lors du Protocole de Kyoto.

Si le taux d'effort reste identique pour l'Union Européenne, la réduction des émissions vis à vis de celles de 1990 passe de -8,4 % dans le cadre de référence à -15,2 %. En effet, en réduisant l'effort à fournir en particulier pour les Etats-Unis, la demande des permis est moins élevée, le prix du permis baisse, il passe de \$51 à \$32. Ainsi, pour le même taux d'effort, la quantité de réduction possible se trouve augmentée.

Graphiques 3b et 7: taux d'effort sans et avec plafonnement à 0,07 %



Néanmoins, ce plafonnement du taux d'effort a des conséquences non négligeables quant à l'intégrité environnementale pour l'ensemble de l'Annexe B. Si, pour le cadre de référence, c'est à dire l'application des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre définis dans le Protocole de Kyoto, la réduction globale pour les pays de l'Annexe B était de 5 % environ, elle est dans ce cas particulier de 0,7 % seulement. **Le plafonnement des taux d'effort au niveau de celui de l'Union Européenne a donc un effet important sur l'intégrité environnementale.**

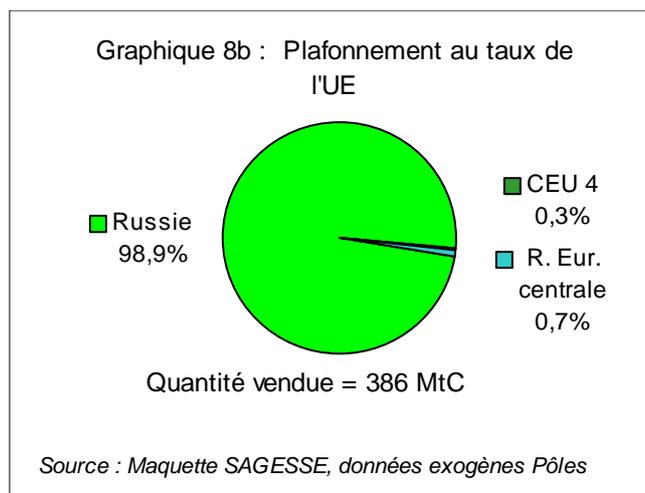
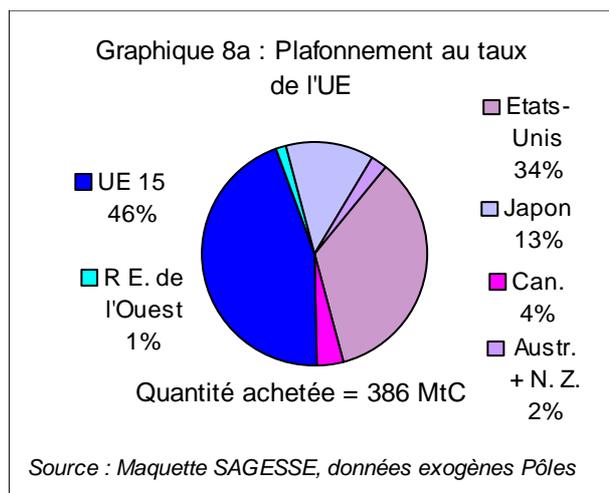
Tableau 2 : Plafonnement des taux d'effort

Pays ou région	Kyoto et marché de permis		Plafonnement sur taux d'effort de l'UE soit 0,07		Taux de l'Annexe B (réf) pour tous sauf Russie soit 0,04	
	Objectif de Kyoto	Taux d'effort	Objectif de réduction	Taux d'effort	Objectif de réduction	Taux d'effort
Etats Unis	-7,0%	0,20%	7,4%	0,07%	11,2%	0,04%
Canada	-6,0%	0,15%	0,3%	0,07%	3,5%	0,04%
Union Européenne	-8,4%	0,07%	-15,2%	0,07%	-11,2%	0,04%
<i>France (répartition bulle européenne)</i>	<i>0,0%</i>	<i>0,05%</i>	<i>-6,7%</i>	<i>0,05%</i>	<i>-3,0%</i>	<i>0,03%</i>
<i>France (sans répartition bulle européenne)</i>					<i>-14,0%</i>	<i>0,04%</i>
Reste de l'Europe de l'Ouest	-4,1%	0,07%	-4,1%	0,05%	-10,7%	0,04%
Pol, Hon, Tchéc, Slov	6,8%	0,02%	6,8%	0,04%	5,4%	0,04%
Reste de l'Europe centrale (Annexe B)	-3,3%	-0,05%	-3,3%	-0,01%	-9,2%	0,04%
Fédération de Russie (Annexe B)	0,0%	-1,31%	0,0%	-0,78%	0,0%	-0,41%
Japon	-6,0%	0,08%	-6,0%	0,06%	-7,4%	0,04%
Australie+Nouvelle Zélande	6,8%	0,19%	22,1%	0,07%	26,9%	0,04%
Ombrelle ⁽¹⁾	-6,2%	0,17%	+5,4%	0,07%	+8,4%	0,04%
Annexe B	-4,7%	0,04%	-0,7%	0,02%	1,4%	0,01%
Prix du permis	50,9	50,9	31,6	31,6	22,3	22,3

(1) en raison des regroupements des différents pays au sein de Pôles, les pays ici comptabilisés sont les Etats-Unis, le Canada, le Japon, l'Australie et la Nouvelle Zélande.

Source : Maquette SAGESSE (D4E), données exogènes Pôles

Graphiques 8a et 8b : Echanges en cas de taux d'effort plafonnés à 0,7 %



3.1.2. Plafonnement des taux d'effort à hauteur des efforts moyens de l'Annexe B (0,04 %)

Dans une deuxième simulation, les taux d'effort sont plafonnés au niveau de celui obtenu pour l'ensemble des pays de l'Annexe B dans le cadre de référence soit 0,04 %.

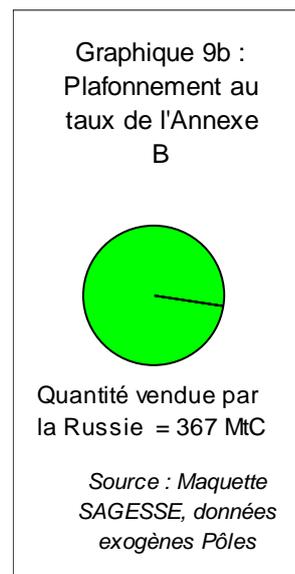
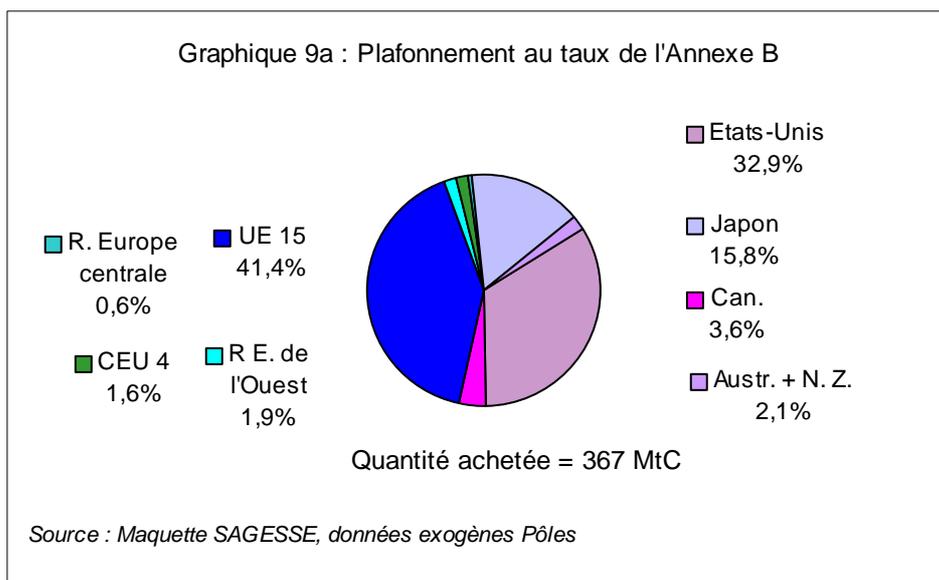
L'impact négatif en terme d'intégrité environnementale est encore plus important que dans le cas précédent, puisque l'on a réduit le plafond des taux d'effort. En effet, on passe d'une réduction des émissions vis à vis de 1990 de 5 % à une augmentation de 1,4 %.

En revanche, la situation de très nombreux pays s'améliore.

Le Japon est le seul pays de l'Ombrelle dont l'objectif le moins contraignant, économiquement, est celui fixé lors du Protocole de Kyoto.

Pour l'Union Européenne, une équité en terme de taux d'effort modifie l'objectif de Kyoto de -8 % à -12,2 % et risque de poser un problème en terme de renégociation à l'intérieur de la bulle européenne. En effet, si elle avantage les pays de l'Union Européenne du nord, elle accentue la contrainte des autres pays de l'Union Européenne. Ceci est particulièrement sensible pour l'Allemagne ou les pays d'Europe du sud. Pour une présentation plus lisible des résultats, ce point particulier n'est pas pris en compte explicitement dans l'étude où sont présentés uniquement les résultats pour l'ensemble de l'Union Européenne et la France.

Graphiques 9a et 9b : Echanges pour des taux d'effort plafonnés à 0,04 %



3.2. Homogénéisation des taux d'effort avec respect de l'intégrité environnementale

La situation de la Fédération de Russie étant exceptionnelle, la question s'est posée de savoir ce que deviendraient les objectifs si l'on décidait de respecter le gain environnemental pour l'ensemble des pays de l'Annexe B tel que décrit dans le cadre de référence soit une réduction globale de 4,7 % tout en fixant des taux d'effort identique, dans un premier temps pour tous les pays, puis pour tous les pays sauf la Russie qui garde alors un objectif identique de stabilisation par rapport à l'année de référence.

3.2.1. Un taux d'effort homogène à 0,04 %

Le taux d'effort global de l'Annexe B est ici appliqué à tous les pays soit 0,04 %. Les objectifs de réduction sont tous modifiés de manière sensible, la répartition des efforts étant la plus équitable économiquement. En fait seules trois régions observent une dégradation de leur situation :

- ◇ l'ensemble de la Pologne de la Hongrie, de la Tchécoslovaquie et de la Slovénie dont le taux d'effort était auparavant de 0,02 %,
- ◇ le reste de l'Europe centrale dont le taux était de -0,05 %,
- ◇ et enfin la Fédération de Russie avec -1,31 %. Son objectif est dorénavant de -46,7 % puisque le *hot air* est éliminé par ce biais. Ce pourcentage de réduction peut sembler important mais la Fédération de Russie enregistrait en 1996 (dernières données communiquées à l'UNFCCC) une réduction de 36 % environ de ses émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990, ce qui relativise l'effort réel à réaliser.

De plus, pour le cas où tous les objectifs sont redéfinis, et où le taux d'effort est fixé à 0,04%, on observe une forte variation du prix de permis qui passe de \$51 par tonne de carbone environ à \$22 puisque l'offre est fortement réduite ; les échanges ne concernent d'ailleurs plus que 59 millions de tonnes de carbone.

En raison de ce prix élevé, la plupart des réductions s'effectuent en interne, la part des échanges étant, par exemple, de seulement 29 % pour l'Union Européenne (52 % pour le respect des engagements de Kyoto). En raison aussi de ce prix, les Etats-Unis deviennent un pays vendeur, le total des réductions effectuées inférieures à ce prix permettant à elles seules d'atteindre leur objectif.

Graphiques 10a et 10b : Echanges pour des taux homogènes à 0,04 %

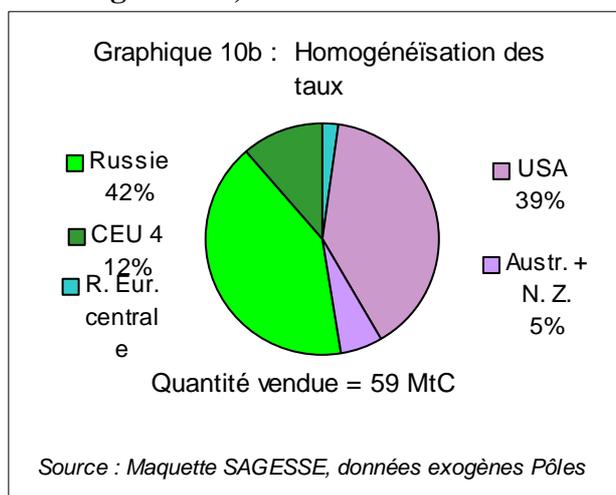
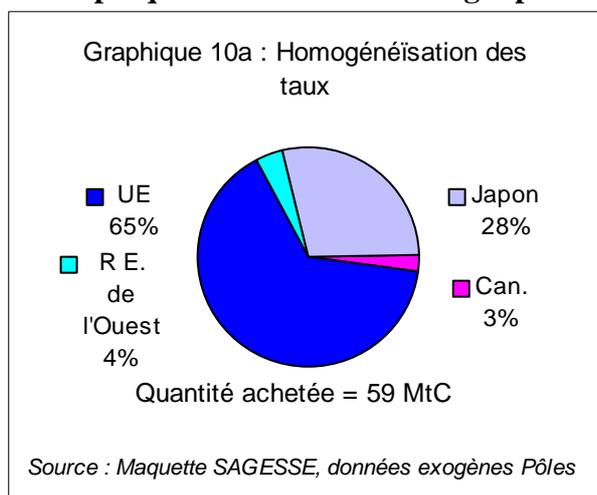


Tableau 3 : Uniformisation des taux d'effort

Pays ou région	Kyoto et marché de permis		Taux de l'Annexe B pour tous soit 0,04		Taux identique pour tous sauf Russie	
	Objectif de Kyoto	Taux d'effort	Objectif de réduction	Taux d'effort	Objectif de réduction	Taux d'effort
Etats Unis	-7,0%	0,20%	13,9%	0,04%	3,0%	0,13%
Canada	-6,0%	0,15%	8,5%	0,04%	-3,0%	0,13%
Union Européenne	-8,4%	0,07%	-2,9%	0,04%	-18,8%	0,13%
France (répartition bulle européenne)	0,0%	0,05%	6,0%	0,02%	-11,4%	0,09%
France (sans répartition bulle européenne)			0,3%	0,04%	-23,3%	0,13%
Reste de l'Europe de l'Ouest	-4,1%	0,07%	5,4%	0,04%	-21,9%	0,13%
Pol, Hon, Tchéc, Slov	6,8%	0,02%	5,1%	0,04%	-0,5%	0,13%
Reste de l'Europe centrale (Annexe B)	-3,3%	-0,05%	-8,7%	0,04%	-13,5%	0,13%
Fédération de Russie (Annexe B)	0,0%	-1,31%	-46,7%	0,04%	0,0%	-1,31%
Japon	-6,0%	0,08%	2,4%	0,04%	-15,5%	0,13%
Australie+Nouvelle Zélande	6,8%	0,19%	28,9%	0,04%	16,3%	0,13%
Ombrelle ⁽¹⁾	-6,2%	0,17%	+12,3%	0,04%	+0,2%	0,13%
Annexe B	-4,7%	0,04%	-4,7%	0,04%	-4,7%	0,04%
Prix du permis	50,9	50,9	50,9	50,9	50,9	50,9

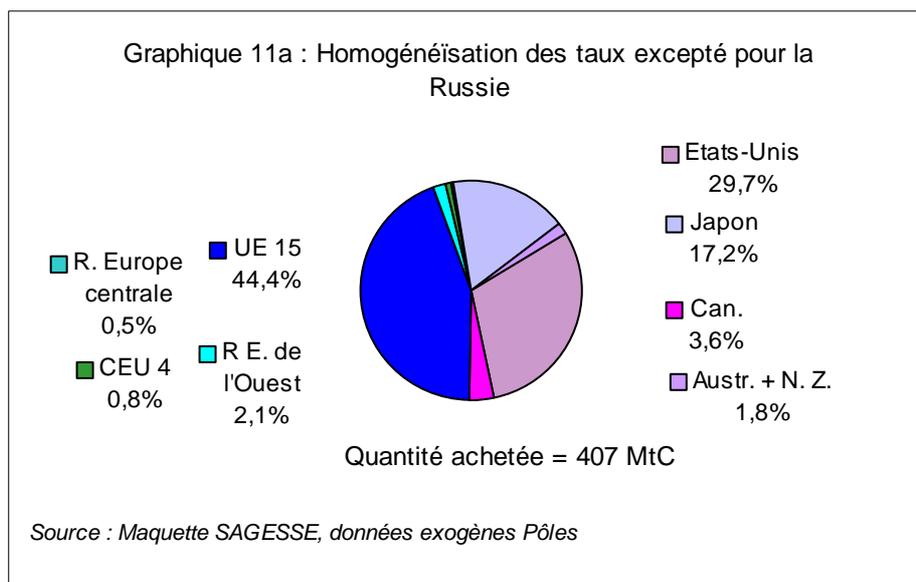
(1) en raison des regroupements des différents pays au sein de Pôles, les pays ici comptabilisés sont les Etats-Unis, le Canada, le Japon, l'Australie et la Nouvelle Zélande.

Source : Maquette SAGESSE (D4E), données exogènes Pôles

3.2.2. Un taux d'effort homogène à 0,13 %, sauf pour la Fédération de Russie

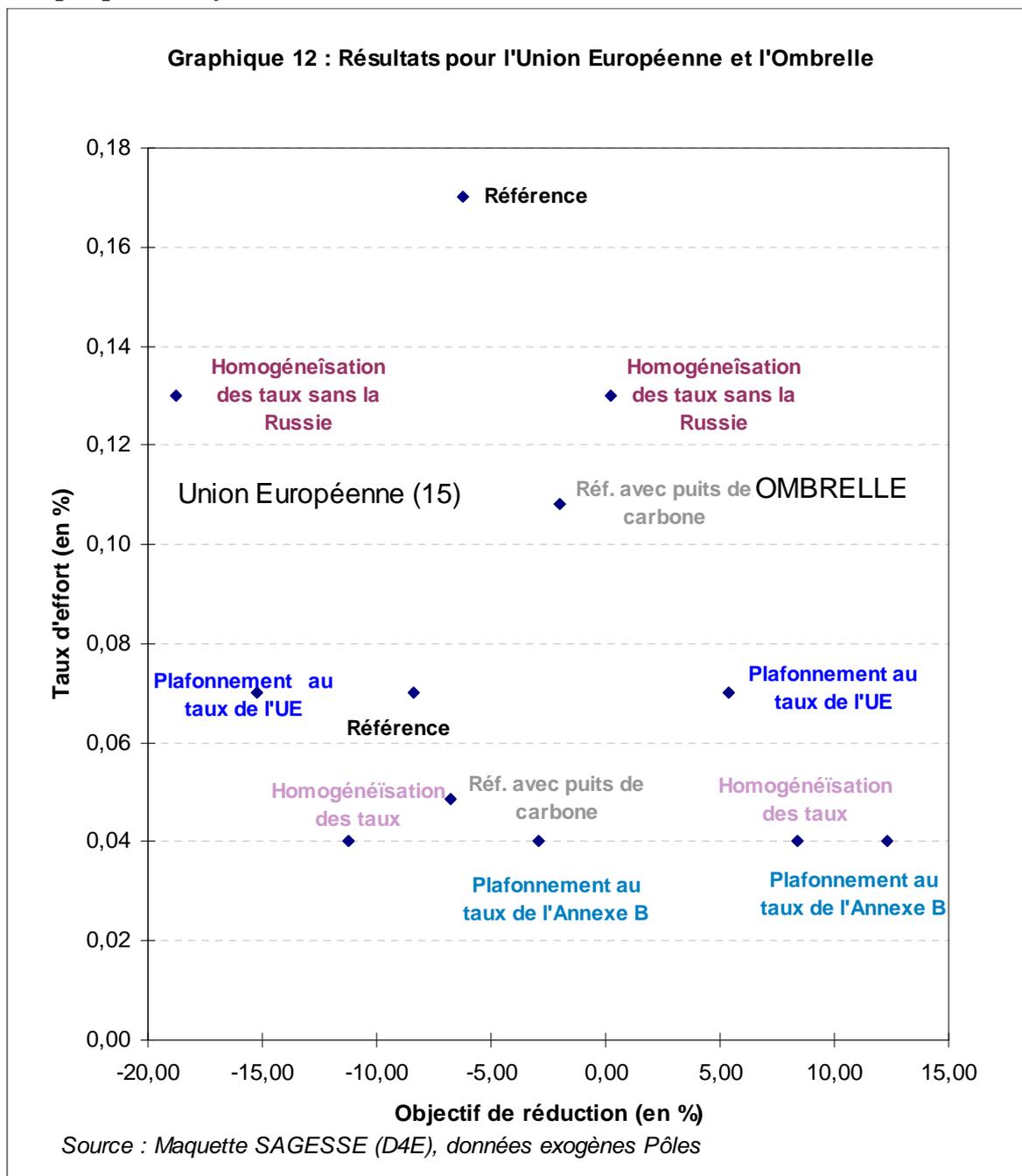
Néanmoins, ce cas n'est guère satisfaisant en terme de négociation puisque l'objectif fixé pour la Fédération de Russie est très fortement modifié et implique un coût pour ce pays alors qu'il bénéficiait auparavant d'un gain important. Cette révision des objectifs vis à vis de la Russie pouvant sembler drastique, le choix d'un modèle contraint sur le respect du gain environnemental sans rien imposer à la Russie en terme de révision de ses objectifs montre alors que le taux d'effort devant être appliqué à l'ensemble des pays considérés est de 0,13 %. Ce taux d'effort n'améliore de fait que la situation des pays de l'Ombrelle, à l'exception du Japon.

Graphiques 11a et 11b : Echanges pour des taux d'efforts homogènes à 0,13 %



Puisque l'on rétablit ainsi le *hot air*, le prix du marché d'équilibre passe de \$51 à \$37 par tonne de carbone puisque la demande de permis est moins élevée alors que l'offre reste identique. L'offre de permis restant importante du fait du maintien du « hot air » russe, la part des échanges de permis est relativement élevée en regard des réductions effectuées en interne (54 % pour les Etats-Unis et 63 % pour l'Union Européenne). Les quantités échangées sont toujours légèrement supérieures à 400 millions de tonnes et la Fédération de Russie est le seul et unique vendeur net de permis d'émissions négociables.

Graphique 12 : Synthèse des résultats



Conclusion

L'utilisation des taux d'effort, comme outil de comparaison entre les différents pays de l'Annexe B, a permis de mettre en évidence de nombreux résultats. Un plafonnement des taux d'effort permet effectivement de réduire la contrainte financière de certains pays. Néanmoins, la modification des objectifs de réduction non compensée pose le problème de l'intégrité environnementale. Si l'on désire respecter l'objectif global de réduction de l'ensemble des pays de l'Annexe B tel que fixé par le Protocole de Kyoto, force est alors de constater que l'homogénéisation sous contrainte du taux d'effort varie du simple au triple si l'on ne modifie pas l'objectif de la Fédération de Russie. Pourtant, le cas où tous les taux d'efforts sont homogènes est le plus intéressant car le plus différent des autres scénarios. En effet, les

quantités d'émissions échangées sont très faibles, peu de pays devant réellement recourir au marché d'échanges de permis d'émissions négociables et les Etats-Unis se trouvent alors en position de vendeurs sur ce marché.

Un autre résultat de cette étude est la mise en évidence des différences existant entre l'Union Européenne dans son ensemble et de la partie de l'Ombrelle constituée des Etats-Unis, du Canada, du Japon, de l'Australie et de la Nouvelle Zélande. En effet, à taux d'effort identique, les objectifs de réduction correspondants sont peu comparables puisque dans les quatre scénarios étudiés, si l'objectif global de l'Union Européenne est toujours une réduction de ses émissions de gaz à effet de serre par rapport à celles de 1990, ce n'est plus le cas pour les pays constituant une part de l'Ombrelle, alors que les objectifs de réduction fixé par le Protocole de Kyoto de ces deux ensembles de pays sont relativement semblables.

En conclusion, les efforts économiques résultant de l'application du Protocole de Kyoto sont très variables selon les pays considérés. Une modification des objectifs aurait un impact non négligeable sur les gains environnementaux, mais aussi sur la répartition des coûts. Toute modification des objectifs de réduction, si l'on veut sauvegarder un gain environnemental, pose avec acuité le problème de la Fédération de Russie et donc celui du hot air russe.

Annexe : Les hypothèses formulées pour 2010 pour les différents pays de
l'Annexe B

Pays ou région	TCAM* du PIB	TCAM des émissions de CO ₂
Etats Unis	+2,3	+1,2
Canada	+2,1	+0,9
France	+1,9	+0,7
Allemagne	+1,7	-575,7
Italie	+1,9	+0,5
Grande Bretagne	+1,9	+0,2
Reste de l'UE du Nord	+2,1	+1,3
Reste de l'UE du Sud	+2,2	+1,5
Reste de l'Europe de l'Ouest	+2,4	+1,0
Pol, Hon, Tchéc, Slov	+1,7	+0,7
Reste de l'Europe centrale (Annexe B)	+1,1	-39,9
Fédération de Russie (Annexe B)	-1,4	-2,4
Japon	+1,7	+0,7
Australie+Nouvelle Zélande	+2,9	+1,9

* TCAM : taux de croissance annuel moyen entre 1990 et 2010

Source : POLES

4. LISTE DES GRAPHIQUES

Graphique 1: Objectifs à atteindre pour les pays de l'Annexe B	9
Graphique 2 : Taux d'effort si les réductions sont effectuées en interne seulement	12
Graphiques 2 et 3a : Taux d'effort sans et avec marché	14
Graphiques 4a et 4b : Echanges dans la situation de référence	15
Graphiques 3b et 5: Taux d'effort avec marché, en cas de prise en compte ou non des puits	17
Graphiques 6a et 6b : Echanges avec prise en compte des puits	18
Graphiques 3b et 7: taux d'effort sans et avec plafonnement à 0,07 %	21
Graphiques 8a et 8b : Echanges en cas de taux d'effort plafonnés à 0,7 %	23
Graphiques 9a et 9b : Echanges pour des taux d'effort plafonnés à 0,04 %	24
Graphiques 10a et 10b : Echanges pour des taux homogènes à 0,04 %	25
Graphiques 11a et 11b : Echanges pour des taux d'efforts homogènes à 0,13 %	26
Graphique 12 : Synthèse des résultats	27