

► DIRECTION DES ETUDES ECONOMIQUES ET DE L'EVALUATION ENVIRONNEMENTALE

► DOCUMENT DE TRAVAIL

# **EFFETS ECONOMIQUES DU PROTOCOLE DE KYOTO : UNE MAQUETTE INTERNATIONALE**

**Jean-Pierre BERTHIER  
Martin GUESPEREAU  
Eve ROUMIGUIERES**

**Série Etudes  
N° 01-E01**



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

## ► RESUME

### **Effets économiques du protocole de Kyoto : Une maquette internationale** Jean-Pierre BERTHIER, Martin GUESPEREAU, Eve ROUMIGUIERES

La lutte contre le changement climatique passe par une réduction des émissions de gaz à effet de serre, notamment de CO<sub>2</sub>. Le protocole de Kyoto envisage un marché international de permis pour réduire le coût de cette réduction. Son fonctionnement se trouve au cœur des négociations internationales.

La DEEEE a construit, à partir des données de l'IEPE et du modèle POLES, une maquette permettant de simuler un tel marché. Après avoir présenté la maquette elle-même et effectué les premières simulations, on examine une éventuelle limitation de l'accès au marché (notion de supplémentarité). Cet examen montre l'apport d'une telle maquette à l'analyse économique du marché de permis.

Des simulations plus proches des réalités institutionnelles, et donc plus complexes, sont ensuite présentées. Elles prennent en compte le mécanisme de développement propre, l'éventualité de prélèvements sur les échanges ou l'existence d'un prix plafond, ainsi que les possibilités de recycler les fonds ainsi collectés. Il en ressort qu'une telle maquette permet, au-delà des incertitudes numériques, de guider efficacement une analyse économique complexe, et d'éclairer les négociations autour de la lutte contre le changement climatique.

*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

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>4</b>
<b>I. PRESENTATION DE LA MAQUETTE .....</b>	<b>5</b>
1.1. PRESENTATION GENERALE ET FONCTIONNALITES .....	5
1.2. UN PREMIER EXERCICE DE SIMULATION.....	7
1.3. UNE VARIANTE SUR LES OBJECTIFS D’EMISSIONS : LA PRISE COMPTE DES PUIITS .....	8
1.4. ETUDE DE SENSIBILITE AUX DONNEES EXOGENES : COMPARAISON MIT - IEPE .....	10
<b>II. FONCTIONNEMENT DU MARCHE ET SUPPLEMENTARITE .....</b>	<b>13</b>
2.1. PLAFOND QUANTITATIF A L’ACHAT - VENTE.....	13
2.2. FIXATION D’UN MINIMUM DE REDUCTION EN INTERNE.....	14
2.3. INDICATEUR DE SUPPLEMENTARITE .....	14
2.4. LA SUPPLEMENTARITE POURRAIT AUSSI ETRE OBTENUE PAR UN CRITERE DE PRIX .....	18
<b>III. VARIANTES COMPLEXES SIMULANT LES MECANISMES INSTITUTIONNELS.....</b>	<b>19</b>
3.1. ANALYSE DU MECANISME DE DEVELOPPEMENT PROPRE (MDP) .....	19
3.2. ANALYSE D’UN « SHARE OF PROCEEDS » APPLIQUE AU MDP.....	22
3.3. ANALYSE D’UNE « SAFETY VALVE » (PRIX PLAFOND APPLIQUE AUX PERMIS) .....	26
3.4. COMBINAISON DE DIFFERENTS INSTRUMENTS.....	30
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>33</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>35</b>
ANNEXE A : SOURCES EXOGENES UTILISEES DANS LA MAQUETTE DE LA DEEEE .....	35
ANNEXE B : LES PUIITS DE CARBONE DANS LE PROTOCOLE DE KYOTO .....	36
ANNEXE C : LA PRISE EN COMPTE DES PUIITS : LA « PROPOSITION PRONK ».....	49
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>53</b>
<b>LISTE DES GRAPHIQUES .....</b>	<b>53</b>

## INTRODUCTION

La question du changement climatique est complexe sur de multiples plans : scientifique, diplomatique et économique. Les enjeux en ce domaine se trouvent posés dès lors que la réduction des émissions de gaz à effet de serre nécessite la mise en œuvre de politiques potentiellement coûteuses. De manière plus précise, le protocole de Kyoto (1997) prévoit, quoique dans des termes encore assez flous, la mise en œuvre de mécanismes dits « de flexibilité » dont l'inspiration directement économique vise à permettre de réduire le coût global des efforts demandés aux différentes parties en permettant leur réallocation éventuelle. Ces mécanismes sont les suivants :

- un marché de permis entre pays ayant pris des engagements quantifiés et contraignants de limitation d'émissions (pays dits de l'Annexe I ou de l'Annexe B) ;
- la mise en œuvre conjointe (MOC, ou JI en anglais) entre les pays en transition et les autres pays de l'Annexe I. Son aspect économique, sur un marché de droit d'émissions, est très semblable à celui du marché de permis et l'on ne distinguera pas dans ce document de travail les deux mécanismes ;
- le mécanisme de développement propre (MDP, ou CDM en anglais) entre pays en développement et pays de l'Annexe I.

Les discussions autour de ces mécanismes sont au cœur des négociations internationales sur le changement climatique. Tout d'abord, il existe un débat sur les modalités de mise en œuvre de ces mécanismes. L'impact du MDP, mais également le respect de la contrainte environnementale globale, dépendront de façon cruciale des modalités pratiques de mise en œuvre (« observance »), en particulier vis à vis des exigences imposées pour faire respecter le principe d'additionnalité et éviter les fuites de carbone (problème des puits). On trouve en filigrane la question de la complémentarité, le protocole de Kyoto prévoyant que le recours à ces mécanismes doit venir « en complément des mesures prises au niveau national ». Enfin, il y a controverse sur les prélèvements. Le protocole de Kyoto prévoit en effet aussi l'instauration d'un « share of proceeds », basé sur les projets du MDP, devant contribuer à aider les pays en développement. Ses modalités, ainsi que la mise en place et l'utilisation éventuelles de prélèvements sur les autres mécanismes, ne sont pas tranchées.

L'analyse économique peut éclairer les négociations sur ces différents thèmes, qu'il est nécessaire de traiter séparément dans un premier temps, mais dont les interdépendances techniques et diplomatiques nécessitent ensuite une analyse globale.

Pour cela, la simulation de ces mécanismes de flexibilité se révèle fort utile, non seulement pour quantifier ce qui peut l'être, mais pour faciliter la compréhension d'une analyse économique complexe. Le travail présenté ici a été réalisé avec une maquette encore évolutive mise au point à la DEEEE, qui bénéficie et adapte les travaux de l'IEPE (CNRS) de Grenoble qui nous a fait profiter des résultats de son modèle énergétique POLES. Elle utilise aussi les résultats d'autres modèles, notamment le modèle EPPA du MIT.

Comme cette maquette est encore évolutive, les différents chapitres, ordonnancés ex post, ne sont pas toujours cohérents dans les hypothèses et les méthodes de modélisations retenues (principalement en ce qui concerne le MDP). Celles-ci sont naturellement explicitées à chaque fois. Leur variabilité, provisoire puisque ce travail appelle une consolidation à venir, n'empêche cependant pas de mettre en lumière les fruits d'une telle approche.

# I. PRESENTATION DE LA MAQUETTE

## 1.1. PRESENTATION GENERALE ET FONCTIONNALITES

### *Présentation générale*

La maquette construite par la DEEEE permet d'effectuer de façon simple des simulations de marchés de permis, dans le cadre de la lutte contre le changement climatique. Implantée sur tableur Excel, elle calcule un équilibre sur le marché des droits à émettre du carbone en égalisant les coûts marginaux des différents intervenants. Elle utilise pour cela comme données principales les courbes de coûts d'abattement marginaux d'émissions de carbone provenant, au choix, soit du modèle POLES de l'IEPE (CNRS), soit du modèle EPPA du MIT Global Change Program. Pour simplifier les calculs, ces courbes ont été approximées par des expressions analytiques paraboliques, ce qui ne semble modifier les résultats que très marginalement. Dans chacun des deux cas, les projections d'émissions à horizon 2010 (en cohérence avec les engagements de Kyoto qui portent sur 2008-2012) sont celles utilisées dans les modèles respectifs. Le tableau 1 rappelle ces engagements.

**Tableau 1 : Objectif de Kyoto (après répartition au sein de la bulle européenne).**

*Le niveau 100 correspond aux émissions de l'année de référence défini pour l'application du protocole (en général 1990)*

Pays de l'Union Européenne	Objectif de Kyoto	Emissions 1990	Pays de l'annexe 1, en transition vers une économie de marché	Objectif de Kyoto	Emissions 1990
Allemagne	79	327,6	Estonie	92	11,1
Autriche	87	20,6	Hongrie	94	27,7
Belgique	92,5	37,3	Lettonie	92	9,7
Danemark	79	19,0	Pologne	94	154,1
Espagne	115	82,4	République Tchèque	92	51,8
Finlande	100	20,5	Slovaquie	92	20,8
France	100	149,1	Ukraine	100	250,9
Grèce	125	28,4	Bulgarie	92	42,9
Irlande	113	14,6	Roumanie	92	72,3
Italie	93,5	141,3	Fédération de Russie	100	818,7
Luxembourg	72	3,7	Lituanie	92	14,1
Pays Bas	94	57,0	Slovénie	92	5,2
Portugal	127	17,4	Croatie	95	nc
Royaume Uni	87,5	198,5	<b>Autres pays annexe 1</b>		
Suède	104	18,9	Australie	108	114,2
Total UE (hors Luxembourg)	92	1132,7	Canada	94	164,6
			Etats Unis	93	1628,0
			Islande	110	0,7
			Japon	94	320,8
			Liechtenstein	92	0,2
			Monaco	92	0,0
			Norvège	101	12,8
			Nouvelle Zélande	100	19,8
			Suisse	92	14,5

*Note : les émissions de 1990 correspondent aux CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O, exprimés en équivalent carbone.*

- Source : UNFCCC ; calculs DEEEE du MATE

POLES est un modèle sectoriel, basé sur une analyse détaillée de la production d'énergie

et de sa consommation. Il s'agit d'un modèle d'équilibre partiel, dont le développement a été en partie financé par le MATE.

A partir de simulations prenant en compte différents niveaux d'une taxe fictive sur la tonne de carbone, il débouche sur l'établissement d'une courbe d'abattement par pays ou groupes de pays (courbe indiquant le coût marginal de différents niveaux de réductions des émissions de CO<sub>2</sub>), ces courbes résultant de l'agrégation de différentes courbes sectorielles. Leur utilisation suppose implicitement qu'à l'intérieur de chaque pays les efforts de réduction des émissions sont effectués de façon économiquement efficaces, avec égalisation des coûts marginaux entre secteurs (transports et industrie par exemple).

Les prévisions d'émissions à échéance 2010 sont basées sur des scénarios macro-économiques du CEPII datant de 1996 mais actualisés par l'IEPE au fur et à mesure. Une actualisation de ces scénarios par le CEPII est en cours. En ce qui concerne les émissions de référence de 1990, la nécessité de travailler à un niveau sectoriel assez fin et le souci de cohérence interne font qu'elles ne sont pas exactement égales à ce que l'on trouve dans les inventaires officiels.

Le modèle EPPA du MIT est par contre un modèle d'équilibre général développé dans la lignée du modèle GREEN de l'OCDE.

### ***Fonctionnalités***

La maquette ne concerne que le CO<sub>2</sub>. Son utilisation de base suppose implicitement que les autres gaz à effet de serre pris en compte dans le protocole de Kyoto font, globalement, l'objet d'un même pourcentage de réduction que le CO<sub>2</sub>.

Le champ géographique retenu pour un marché de permis est large. Le monde est partagé en 12 pays ou régions, et il est facile de simuler un marché entre pays de l'Annexe I (pays ayant conclu des engagements chiffrés dans le protocole de Kyoto), ou bien faisant intervenir l'ensemble des régions. Les différentes parties du monde sont : l'Union Européenne (EU), la partie de l'ex URSS située dans l'Annexe I (FSU), le reste de l'Europe de l'Est dans l'Annexe I (EET), l'Australie, la Nouvelle-Zélande, le Canada et le reste de l'Europe (OOE), le Japon (JPN), les Etats Unis d'Amérique (USA), la Chine (CHN), l'Inde (IND), le Brésil (BRA), l'ensemble Golfe, Moyen Orient, Mexique, Russie hors Annexe B (EEX), le reste de l'Asie (ASIE), le reste du monde.

Les objectifs d'émissions (quotas) correspondent *a priori* aux engagements de Kyoto, mais peuvent être modifiés. Ceci permet par exemple d'examiner l'impact d'une limitation de l'« air chaud » (ou hot air).

Le marché simulé peut être libre ou bien contraint par différents mécanismes que l'on peut combiner : des limitations à l'achat ou la vente de permis peuvent être introduites sous différentes formes, un prix plafond peut être fixé, des coûts de transactions et des coûts de prélèvement peuvent être imposés.

Différents types de résultats sont calculés par la maquette :

- le prix des permis sur le marché ;
- les émissions réelles, les quantités achetées ou vendues et les quantités de réductions réalisées en interne pour chaque région ;
- les coûts totaux par région, le pourcentage du PIB que cela représente, le partage entre coût d'achat des permis (ou de recette de vente) et le coût des réductions internes ;

- le gain par rapport au respect des objectifs de Kyoto sans faire appel au marché de permis.

## 1.2. UN PREMIER EXERCICE DE SIMULATION

Pour illustrer cette présentation, considérons un premier scénario : celui élémentaire, d'un marché de permis sans limitation au sein de l'annexe B, et sans mécanisme de développement propre (MDP). On retiendra les données tirées de Poles et de l'IEPE.

Quelques-uns des résultats fournis par la maquette sont consignés dans le tableau 2.

**Tableau 2 : Marché de permis au sein de l'annexe B**

Pays/Régions	Achats(+) Ventes (-) de permis	% de réduction d'émissions par des mesures internes	Coût total en % du PIB (*)	Coût total en l'absence de marché en % du PIB
Etats-Unis	+242 MtC	49%	0.21%	0.33%
Japon	+40 MtC	39%	0.09%	0.17%
Union Européenne	+81 MtC	51%	0.07%	0.10%
Reste Europe de l'Ouest	+37 MtC	47%	0.16%	0.25%
Reste Europe Est (annexe B)	+8 MtC	83%	0.15%	0.16%
Total annexe B hors ex-URSS	+408 MtC	51%	0.14%	0.21%
Ex-URSS dans l'annexe B	-408 MtC	100%	-2.17%	0%
<b>Total annexe B</b>	<b>0 MtC</b>	<b>100%</b>	<b>0.05%</b>	<b>0.20%</b>

Source : Maquette DEEEE et données exogènes du modèle de l'IEPE (Poles)

(\*) L'expression, souvent utilisée, des coûts en pourcentage du PIB est commode pour effectuer des comparaisons entre pays. Il convient cependant de garder à l'esprit que l'on rapporte des coûts étalés sur toute une période d'effort pour atteindre l'objectif de Kyoto, au PIB d'une seule année (ici 2010).

Pour un prix de permis supposé fixé, les pays (ou régions) dont le coût marginal d'abattement est supérieur ont intérêt à acheter des permis tant que leur coût marginal se situe au dessus du prix sur le marché. Cela permet de déterminer la demande de permis, à un tel prix. Symétriquement, les pays ayant un coût marginal inférieur au prix sur le marché ont intérêt à réduire leurs émissions et vendre les permis correspondants, tant que leur coût marginal reste inférieur au prix sur le marché. Cela permet de déterminer l'offre de permis à un tel prix. Par itération numérique, la maquette calcule le prix qui permet d'égaliser offre et demande de permis. Dans le cas présent, ce prix s'établit à 55\$.

Ce fonctionnement de base, très simple, de la maquette permet dès lors de déterminer notamment :

- Les pays vendeurs et les pays acheteurs. Le tableau 2 montre que seule la région de l'ex-URSS est vendeuse, toutes les autres étant acheteuses. Ceci provient principalement de l'existence d'un « air chaud » (hot air) important, mais aussi du fait que les coûts marginaux d'abattement sont plus faibles dans l'ex-URSS que dans le reste de l'Europe.
- Les quantités échangées et la décomposition entre achat de permis et réduction d'émission (par rapport à un scénario au fil de l'eau) grâce à des mesures internes. Les Etats Unis constituent le plus gros acheteur avec 242 MtC, mais c'est le Japon qui a le

plus faible pourcentage de réduction en interne (39 % contre environ 50 % pour les Etats-Unis et l'Union Européenne). Le total des permis échangés s'élève à 408 MtC, entièrement vendus par l'ex-URSS. Cette quantité se décompose en 322 MtC de hot air (quantité exogène à la maquette) et une réduction supplémentaire de 8 MtC liée à l'intérêt pour l'ex-URSS de tirer partie de l'écart des coûts marginaux d'abattement avec les autres pays de l'annexe B.

- Les coûts totaux de respect des objectifs de Kyoto, constitués du coût des mesures internes et de celui des achats (ou ventes) de permis. Exprimé en pourcentage du PIB, le coût le plus élevé est supporté par les Etats-Unis avec 0,21 %, contre 0,07 % pour l'Union Européenne. Pour l'ex-URSS, la possibilité de vendre son hot air et les quantités réduites de façon complémentaire lui procure un revenu important de plus de 2 % de son PIB.
- Les coûts de respects des objectifs de Kyoto sont également calculés sous l'hypothèse d'absence de marché de permis. Le tableau 2 permet de vérifier que ces coûts sont alors supérieurs pour tous les pays. Ceci est un résultat tout à fait général, puisque, par construction, les échanges permettant d'égaliser les coûts marginaux sont bénéfiques à la fois pour le vendeur et l'acheteur. De façon globale, l'institution d'un marché de permis abaisse le coût (pour l'ensemble des régions acheteuses) de 0,21 à 0,14 %. Pour l'ex-URSS, l'absence de permis supprime naturellement tout gain.

Avec l'existence d'un marché, le coût global pour l'annexe B, atteint son minimum et devient indépendant de la répartition des quotas entre pays. Les coûts relatifs à chaque pays dépendent par contre crucialement de cette répartition. Ce problème redistributif est essentiel, mais il est naturellement exogène à la maquette.

### **1.3. UNE VARIANTE SUR LES OBJECTIFS D'EMISSIONS : LA PRISE COMPTE DES PUITTS.**

Les courbes d'abattement utilisées, et donc les simulations effectuées avec, ne prennent pas en compte la question des puits. Celle-ci est pourtant devenue un enjeu majeur dans les négociations internationales.

Le calcul des quantités de carbone susceptibles d'être absorbées et leur prise en compte éventuelle constituent une problématique à part, qui combine incertitude technique forte et décision politique. Pour les simulations que l'on souhaite effectuer à l'aide de notre maquette, elle doit donc être abordée de façon exogène, en fixant des quantités allouées à chaque pays. La prise en compte dans la simulation peut alors s'effectuer de façon simple, en modifiant les objectifs fixés à chaque pays. Au lieu de reprendre les objectifs de Kyoto, la simulation sera simplement alimentée par des données transcrivant les objectifs hors prise en compte des puits.

L'annexe C présente et évalue quantitativement la « proposition Pronk », introduite par le Président de la conférence de La Haye (CoP 6, en Novembre 2000), vers la fin de cette conférence. Pour l'essentiel, elle revient à allouer, au titre des puits, 43 MtC aux Etats-Unis (6 MtC pour l'Union Européenne). Sa prise en compte dans la maquette consiste alors à rajouter notamment 43 MtC à l'objectif de Kyoto pour les Etats-Unis.

Les tableaux suivants fournissent les principaux résultats d'une simulation prenant en



compte la « proposition Pronk ». Ces résultats sont présentés en variante par rapport à un scénario plus réaliste que celui du 1.2. Une compréhension complète des hypothèses sous-jacentes fait appel aux parties ultérieures de ce document, mais celle-ci n'est pas indispensable à ce stade de notre propos.

**Tableau 3 : Impact des propositions Pronk sur le marché de permis**

	Prix des permis	Quantité de projets au titre du MDP	Coût global pour les Etats Unis (rapporté au PIB)	Coût global pour l'Union Européenne (rapporté au PIB)	Coût global pour l'Annexe I (rapporté au PIB)
Scénario de référence	47\$	179 MtC	0.16%	0.06%	0.06%
Scénario avec proposition Pronk sur les puits	42\$	166 MtC	0.14%	0.05%	0.05%

*Hypothèses retenues : données POLES avec limitation du hot air à 200 MtC ; coefficient de réduction MDP de 0,3 ; share of proceeds de 10 \$/tC ; pas de supplémentarité ni de prélèvement sur les permis.*

Le prix des permis et les coûts globaux sont réduits par les propositions Pronk, ce qui est normal puisque l'on accepte de comptabiliser une réduction d'une cinquantaine de millions de tonnes de carbone au titre des puits (soit 1 % des émissions de l'ensemble de l'Annexe I). On constate cependant que cet impact reste limité : hausse du prix de 5 \$ par exemple.

Le tableau 4 permet de constater que cette variation de prix est beaucoup plus faible que les écarts de prix éventuels liés à l'incertitude sur la quantité de hot air (l'IEPE prévoit environ 320 MtC et le MIT 110 MtC) ou le fonctionnement du mécanisme de développement propre (entre une hypothèse *a priori* optimiste d'un coefficient de réduction de 0,4 et une hypothèse *a priori* pessimiste de 0,1 - cf. 3.1).

**Tableau 4 : Impact sur le prix du marché de permis**

Scénarios	Variation de prix
Introduction des propositions Pronk sur les puits	5\$
Passage de l'estimation du hot air par l'IEPE à celle du MIT	20\$
Passage d'une hypothèse optimiste à une hypothèse pessimiste sur le MDP	20\$

Le tableau suivant montre également que la structure des réductions et des échanges apparaît peu modifiée : par exemple, les 9 % pris en compte au titre des puits, pour les Etats Unis, conduisent d'une part à une baisse de 3 points du taux de réduction interne, et d'autre part à une baisse de 6 points du taux d'achat de permis ou de certificats de réduction d'émissions.

**Tableau 5 : Impact sur les échanges**

	Etats Unis				Union Européenne			
	Réduction Interne	Achat de permis ou certif.	Puits	Total / 2010 au fil de l'eau	Réduction Interne	Achat de permis ou certif.	Puits	Total / 2010 au fil de l'eau
<b>Scénario de référence</b>	209 MtC (44 %)	267 MtC (56 %)		476 MtC (100 %)	75 MtC (45 %)	90 MtC (55 %)		165 MtC (100 %)
<b>Scénario avec proposition Pronk sur les puits</b>	193 MtC (41 %)	240 MtC (50 %)	43 MtC (9 %)	476 MtC (100 %)	69 MtC (42 %)	90 MtC (55 %)	6 MtC (3 %)	165 MtC (100 %)

*Hypothèses retenues : données POLES avec limitation du hot air à 200 MtC ; coefficient de réduction MDP de 0,3 ; share of proceeds de 10\$/tC ; pas de supplémentarité ni de prélèvement sur les permis.*

#### 1.4. ETUDE DE SENSIBILITE AUX DONNEES EXOGENES : COMPARAISON MIT - IEPE.

Pour chaque scénario, les résultats sont naturellement dépendants du choix des courbes d'abattement et des projections d'émissions en 2010, entre ceux des modèles du MIT (noté EPPA) et de l'IEPE (POLES).

Les comparaisons ont été effectuées pour deux scénarios simples :

- Marché Annexe I (sans mécanisme de développement propre) : engagements de Kyoto et marché de permis entre pays de l'Annexe I, marché libre sans restriction.
- Marché mondial : engagements de Kyoto pour pays de l'Annexe I ; possibilité pour les pays hors Annexe I de vendre des permis correspondant à des réduction d'émissions par rapport aux projections 2010. Ce marché mondial sans restriction correspond, en quelque sorte, à un marché au sein de l'Annexe I avec une version idéale d'un mécanisme de développement propre associant les pays hors Annexe I.

Nous avons tout d'abord comparé les résultats obtenus d'une part avec les données fournies par le MIT (EPPA) et d'autre part avec celles de l'IEPE (Poles) (Tableaux 6 et 7).

**Tableau 6 : Emissions de CO<sub>2</sub> et paramètres des courbes de coût d'abattement, source MIT (EPPA)**

Variante	Prix du permis (\$)	Coût total Annexe I (\$)	Emissions Annexe I (MtC)	Coût UE (\$)	Emissions UE (MtC)
<b>Sans échanges</b>	-	120	3 753	30	756
<b>Marché Annexe I</b>	127	54	3 753	23	863
<b>Marché mondial</b>	24	21	4 477	6	991

*Source : Maquette DEEEE et données exogènes du MIT (EPPA)*

**Tableau 7 : Emissions de CO<sub>2</sub> et paramètres des courbes de coût d'abattement, source IEPE (Poles)**

Variante	Prix du permis (\$)	Coût total Annexe I (\$)	Emissions Annexe I (MtC)	Coût UE (\$)	Emissions UE (MtC)
<b>Sans échanges</b>	-	50	3 640	10	820
<b>Marché Annexe I</b>	55	12	3 640	6	900
<b>Marché mondial</b>	14	6	3 980	2	958

*Source : Maquette DEEEE et données exogènes du modèle de l'IEPE (Poles)*

Les écarts importants que l'on peut constater s'expliquent d'abord par les différences sur

les courbes d'abattement. Ils proviennent aussi largement des différences relatives aux projections d'émissions pour 2010 (cf. annexe A).

Afin d'apprécier l'impact des hypothèses en ce domaine, des simulations ont été réalisées en faisant varier les projections de 2010 tout d'abord de 1 % pour toutes les régions puis de 1 % pour une région seulement (Tableaux 8 à 10). Les simulations ont été effectuées en n'utilisant que les données du MIT (EPPA).

**Tableau 8 : Projection de 2010 revue de +1 % pour toutes les régions**

Variante	Prix du permis (\$)	Coût total Annexe I (\$)	Emissions Annexe I (MtC)	Coût UE (\$)	Emissions UE (MtC)
<b>Sans échanges</b>	-	130	3 753	33	756
<b>Marché Annexe I</b>	137	61	3 753	26	865
<b>Marché mondial</b>	25	24	4 508	7	998

*Source : Maquette DEEEE et données exogènes du MIT (avec variation sur la projection des émissions en 2010)*

**Tableau 9 : Projection de 2010 revue de +1 % uniquement pour USA**

Variante	Prix du permis (\$)	Coût total Annexe I (\$)	Emissions Annexe I (MtC)	Coût UE (\$)	Emissions UE (MtC)
<b>Sans échanges</b>	-	123	3 753	30	756
<b>Marché Annexe I</b>	131	56	3 753	23	860
<b>Marché mondial</b>	24	22	4 489	6	990

*Source : Maquette DEEEE et données exogènes du MIT (avec variation sur la projection des émissions en 2010)*

**Tableau 10 : Projection de 2010 revue de +1 % uniquement pour UE**

Variante	Prix du permis (\$)	Coût total Annexe I (\$)	Emissions Annexe I (MtC)	Coût UE (\$)	Emissions UE (MtC)
<b>Sans échanges</b>	-	123	3 753	33	756
<b>Marché Annexe I</b>	129	55	3 753	25	872
<b>Marché mondial</b>	24	22	4 484	7	1 001

*Source : Maquette DEEEE et données exogènes du MIT (avec variation sur la projection des émissions en 2010)*

La comparaison avec le tableau 6 montre la sensibilité de l'équilibre du marché aux projections réalisées pour l'année 2010 : 1 % en plus sur l'ensemble des pays conduit à une hausse du prix des permis de 10 \$ sur un marché au sein de l'Annexe I.

Face à cette sensibilité, il est également intéressant de tester la variabilité des résultats en fonction de la quantité d'air chaud projetée, d'autant que les deux modèles sont de ce point de vue très divergeants : 110 MtC pour le MIT et 321 MtC pour l'IEPE. Le tableau 11 éclaire cette variabilité en reprenant le modèle POLES mais en réduisant de moitié la quantité d'air chaud.

**Tableau 11 : Emissions de CO<sub>2</sub> et paramètres des courbes de coût d'abattement, source**

**IEPE (Poles)**

Variante	Prix du permis (\$)	Coût total Annexe I (\$)	Emissions Annexe I (MtC)	Coût UE (\$)	Emissions UE (MtC)
<b>Marché Annexe I</b>	55	12	3 640	6	900
<b>Limitation de l'air chaud de 50%</b>	75	24	3 640	8	872

Source : Maquette DEEEE et données exogènes du modèle de l'IEPE (Poles)

## II. FONCTIONNEMENT DU MARCHE ET SUPPLEMENTARITE

La notion de supplémentarité, qui est âprement discutée dans les négociations, renvoie à l'article 17 du protocole de Kyoto relatif au commerce d'émissions qui précise que « tout échange de ce type vient **en complément des mesures prises au niveau national** pour remplir les engagements chiffrés de limitation et de réduction des émissions prévus dans cet article ».

L'Union européenne s'était exprimée en faveur d'un encadrement strict et quantitatif des recours aux achats et ventes de permis. Mais pour les pays du groupe de l'Ombrelle (qui regroupe les USA, le Japon, la Nouvelle Zélande, l'Australie et la Norvège), cette phrase ne mérite aucune traduction concrète, toute restriction aux mécanismes de flexibilité impliquant un surcoût pour tenir l'engagement global.

Ceci néglige cependant les imperfections du protocole, qui n'a défini des objectifs que pour la première période 2008-2012. La pure stratégie de minimisation des coûts à court terme, qui sous-tend la position de l'Ombrelle, ne prend pas en compte le point fondamental selon lequel les objectifs de Kyoto ne constituent qu'une première étape très imparfaite devant préparer la communauté internationale à des efforts ultérieurs encore plus importants, ce qui peut justifier une certaine exigence de supplémentarité.

Cette question de la supplémentarité est intéressante pour illustrer le fonctionnement de la maquette, car beaucoup de traductions ont été envisagées pour la concrétiser, dont on peut aussi montrer à quel point elles peuvent conduire à des effets économiques différents.

### 2.1. PLAFOND QUANTITATIF A L'ACHAT - VENTE

Une idée simple pour assurer de la supplémentarité consisterait à limiter les achats de permis ou certificats de réduction MDP (on s'intéresse ici à la somme des deux), et éventuellement à limiter également les ventes. La première (« option a ») proposition européenne consiste ainsi à limiter pour chaque partie les achats et les ventes (en fait le solde) à 5 % de la moyenne entre les émissions de 1990 et l'objectif de Kyoto.

Ce mode de supplémentarité peut être simulé avec la maquette de la DEEEE. Quelques résultats sont présentés dans le tableau 13, le tableau 12 servant de référence (même scénario mais sans supplémentarité). Ces scénarios font intervenir le MDP, dont la modélisation est présentée au point 3.1. L'examen en variante de la supplémentarité ne nécessite pas à ce stade de s'y reporter.

**Tableau 12 : Marché de permis avec MDP, sans supplémentarité**

		<b>Union Européenne</b>	<b>Etats-Unis</b>	<b>Annexe I</b>
<b>Prix permis</b>	33\$			
<b>Coût total/PIB</b>		0.04 %	0.12 %	0.03 %
<b>Part de réduction interne</b>		34 %	33 %	
<b>Quantité de certificats MDP</b>	167 MtC			

Source : maquette DEEEE avec coefficient de réduction du marché MDP de 0.3 ; données exogènes de POLES.

**Tableau 13 : Marché de permis avec MDP, plafond d'achat-vente à 5 %**

		Union Européenne	Etats-Unis	Annexe I
<b>Prix permis</b>	15\$			
<b>Coût total/PIB</b>		0.06 %	0.24 %	0.14 %
<b>Part de réduction interne</b>		74 %	86 %	
<b>Quantité de certificats MDP</b>	105 MtC			

Source : maquette DEEEE avec coefficient de réduction du marché MDP de 0.3 ; données exogènes de POLES.

Le premier constat est celui de la baisse du prix. Avec une seule limitation à 5 % des achats, ce prix serait d'ailleurs quasiment nul du fait de l'excédent de l'offre (notamment dû à l'« air chaud » russe) sur la demande, comprimée par la supplémentarité. Au delà des valeurs numériques, forcément fragiles, cette simulation met en évidence le fait que l'introduction d'un plafond d'achat revient de fait à créer un pouvoir de monopsonne par entente des acheteurs : en réduisant leurs achats, ceux-ci poussent le prix à la baisse, ce qui peut compenser, voire surcompenser, les surcoûts résultants de la nécessité d'accroître leurs efforts internes.

La comparaison des tableaux 12 et 13 permet aussi d'éclairer l'hostilité des Etats-Unis à la supplémentarité. En particulier, cette dernière induirait ici un surcoût de 0,12 % de PIB pour les américains, contre 0,02 % de PIB pour les européens.

## 2.2. FIXATION D'UN MINIMUM DE REDUCTION EN INTERNE

Une autre possibilité qui a été souvent évoquée pour traduire l'idée de supplémentarité consiste à imposer un pourcentage minimum de réductions en interne. Ainsi, au niveau européen, l'idée a été envisagée d'imposer un minimum de réduction réelle d'émissions en pourcentage de l'écart entre les émissions 2010 dans un scénario au fil de l'eau et l'objectif de Kyoto.

Cette possibilité, avec un pourcentage de 70 %, a également été simulée et les principaux résultats font l'objet du tableau 14. Il faut toutefois souligner que les émissions 2010 au fil de l'eau ne pouvant faire l'objet que de projections, dont on a vu qu'elles pouvaient être sensiblement différentes d'un modèle à l'autre, une telle supplémentarité est difficilement quantifiable et pose donc des problèmes de vérification.

**Tableau 14 : Marché de permis avec MDP, réductions internes de 70 % minimum**

		Union Européenne	Etats-Unis	Annexe I
<b>Prix permis</b>	28\$			
<b>Coût total/PIB</b>		0.06 %	0.17 %	0.10 %
<b>Part de réduction interne</b>		70 %	70 %	
<b>Quantité de certificats MDP</b>	151 MtC			

Source : maquette DEEEE avec coefficient de réduction du marché MDP de 0.3 ; données exogènes de POLES.

L'analyse des résultats que l'on a faite à propos du plafond d'achat-vente s'applique également ici, même si l'effet de supplémentarité est moins important.

## 2.3. INDICATEUR DE SUPPLEMENTARITE

L'idée a parfois aussi été avancée de fonder la supplémentarité au moyen du suivi de l'évolution d'un indicateur global dans l'économie. Celui-ci serait sensé résumer l'importance des efforts réalisés en interne. Le principe de deux types de formules est examiné brièvement.

### ***Un indicateur de valeur du carbone du type émissions de carbone / dépenses énergétiques***

Un indicateur de valeur du carbone du type émissions de carbone / dépenses énergétiques représente en quelque sorte un prix du carbone émis dans l'économie nationale (ou son inverse). Il est cependant peu susceptible de mesurer les efforts internes de façon satisfaisante. On peut en effet prendre le cas d'école dans lequel toutes les consommations unitaires doubleraient dans l'économie, sans que les prix relatifs ne soient modifiés. Malgré cette détérioration incontestable vis à vis de l'effet de serre, l'indicateur resterait constant, numérateur et dénominateur étant multipliés chacun par deux.

Par ailleurs, un tel critère pourrait buter sur des problèmes de mesure des dépenses énergétiques des industriels, rendus plus délicats depuis la dérégulation des marchés de l'énergie.

### ***Un indicateur d'intensité en carbone, du type Carbone / PIB***

Un indicateur d'intensité en carbone, du type Carbone / PIB, vise à neutraliser l'effet de la croissance économique. Le principe d'une règle basée sur un tel indicateur est de calibrer l'exigence d'efforts internes sans pénaliser la recherche d'une croissance forte et en se basant sur un indicateur comportant moins d'incertitude. Une croissance plus vive que prévue ne remettrait pas en cause l'objectif global, mais celui-ci serait obtenu en ayant éventuellement plus recours aux mécanismes de flexibilité.

#### *Une règle de complémentarité simple pourrait en être déduite*

En laissant de côté une éventuelle correction d'effet de structure (cf. ci-après), l'idée avancée de fixer une intensité en carbone intermédiaire entre celle de 1990 et celle qu'il aurait fallu, au vu du PIB de 2010, pour atteindre Kyoto uniquement en réduction interne, paraît satisfaisante.

Si l'on note  $C_{90}$  et  $C_{2010}$  les émissions de carbone de 1990 et 2010,  $K$  l'objectif de Kyoto (base 1 en 1990),  $I_{90}$  et  $I_{2010}$  l'intensité en carbone, et  $I'_{2010}$  l'intensité qu'il aurait fallu pour atteindre Kyoto uniquement en réduction interne, on peut écrire :  $I'_{2010} = K * C_{90} / PIB_{2010}$

et exiger, au titre de la complémentarité, que :  $(I_{90} - I_{2010}) \geq r * (I_{90} - I'_{2010})$

où  $r$  est un paramètre de calibrage de l'effort compris entre 0 et 1.

On en tire que l'on doit avoir :  $C_{2010} / C_{90} \leq (1-r) * (PIB_{2010} / PIB_{90}) + r * K$

Ainsi, cette règle de complémentarité est particulièrement simple : l'évolution des émissions effectives ne doit pas dépasser une moyenne pondérée de l'évolution du PIB et de l'objectif de Kyoto (en terme d'évolution des émissions). Le contrôle de son respect ne posant pas de problème (autre que celui, certes redoutable mais incontournable, de la mesure des émissions), cette règle paraît « vendable ». Elle présente toutefois une difficulté : elle ne permet de connaître les limites d'émissions effectives qu'*a posteriori*.

Cette difficulté peut cependant n'être pas très grave :

- d'une part, en remplaçant 2010 par les années successives à partir de 2000, on a un bon outil de contrôle pour savoir si l'on est sur le chemin du respect ou non. Le risque de ne pas respecter le critère au dernier moment est donc faible ;

- d'autre part, pour éponger un dépassement in fine (forcément faible si les pays jouent le jeu), on pourrait créer soit une safety valve (cf 3.3), soit autoriser l'achat de permis correspondants moyennant un prélèvement suffisamment élevé sur ces tonnes de carbone.

*Une correction des effets de structure n'apparaît pas souhaitable*

L'idée de corriger des effets de structure, induits par une évolution des poids respectifs des différentes activités dans l'économie, ne paraît pas pouvoir être mise en oeuvre du fait de la conjonction de plusieurs types de raisons :

- un tel critère serait conceptuellement assez compliqué pour des non spécialistes, et donc difficilement « vendable », ou du moins suspecté de manipulations.
- sur le plan de la mise en oeuvre statistique, si le calcul théorique est simple, le calcul effectif donnera lieu à toute une série de difficultés et donc à des discussions sans fin. Pour corriger l'effet de structure, il faudra des données statistiques d'activité et d'émissions, à la fois comparables entre les pays et à un niveau de nomenclature assez détaillé. Cela est quasiment impossible. Le niveau même de nomenclature à retenir deviendra lui-même une question à portée diplomatique, puisque les résultats en dépendront de façon différenciée suivant les pays.
- sur un plan plus économique, le principe de la correction n'est pas sans inconvénient, car il ne se place que du côté de la production. Considérons, de façon caricaturale, une économie dans laquelle il y a deux activités : une activité industrielle intensive en carbone et une activité tertiaire dont la consommation énergétique est négligeable. Les émissions proviennent de deux sources : l'industrie et les ménages (chauffage, automobile). Supposons alors que l'activité industrielle décline fortement au profit d'une croissance importante de l'activité tertiaire, le PIB restant au même niveau. Il n'y a maintenant que les ménages (ou presque) qui consomment de l'énergie. La correction de l'effet de structure aboutira à une intensité en carbone (quasiment) nulle, ce qui n'a aucune raison d'être. D'une façon générale, la correction apportée serait probablement excessive par rapport à ce qui serait souhaitable et il faudrait une réflexion plus poussée pour ne pas prendre en compte que l'approche « production » du PIB.

*L'examen du calibrage d'un tel indicateur montre les limites d'une supplémentarité par les quantités.*

En reprenant les notations des paragraphes précédent, on appellera  $r$  la pondération de l'objectif de Kyoto,  $(1-r)$  représentant alors la pondération de l'évolution du PIB. Le tableau 15 ci-après présente les principaux résultats pour trois valeurs de  $r$  : 0.8, 0.9 et 0.95. Il est basé sur les projections du modèle POLES, que l'IEPE nous a fournies dans un détail géographique supérieur à celui utilisé dans la maquette DEEEE.



**Tableau 15 : Les principaux résultats pour trois valeurs de r**

	<b>r=0,8</b>				<b>r=0,9</b>				<b>r=0,95</b>			
	Quantité autorisée d'achat de permis (ou de certificats MDP)		Réduction interne minimum		Quantité autorisée d'achat de permis (ou de certificats MDP)		Réduction interne minimum		Quantité autorisée d'achat de permis (ou de certificats MDP)		Réduction interne minimum	
	en MtC	Part en %	en MtC	Part en %	en MtC	Part en %	en MtC	Part en %	en MtC	Part en %	en MtC	Part en %
<b>Etats-Unis</b>	182,4	38,3	293,4	61,7	91,2	19,2	384,6	80,8	45,6	9,6	430,2	90,4
<b>Canada</b>	14,2	47,6	15,7	52,4	7,1	23,8	22,8	76,2	3,6	11,9	26,3	88,1
<b>France</b>	10,2	62,4	6,2	37,6	5,1	31,2	11,3	68,8	2,6	15,6	13,9	84,4
<b>Allemagne</b>	25,5	100,0	0,0	0,0	17,3	67,7	8,2	32,3	8,6	33,9	16,9	66,1
<b>Italie</b>	11,8	58,8	8,2	41,2	5,9	29,4	14,1	70,6	2,9	14,7	17,1	85,3
<b>Royaume Uni</b>	19,4	71,1	7,9	28,9	9,7	35,5	17,6	64,5	4,9	17,8	22,5	82,2
<b>Reste UE Nord</b>	19,2	32,1	40,6	67,9	9,6	16,0	50,2	84,0	4,8	8,0	55,0	92,0
<b>Reste UE Sud</b>	7,6	41,9	10,5	58,1	3,8	21,0	14,3	79,0	1,9	10,5	16,3	89,5
<b>Reste Europe de l'Ouest</b>	3,0	47,7	3,3	52,3	1,5	23,9	4,8	76,1	0,8	11,9	5,6	88,1
<b>Pol + Tchec + Hong + Slov</b>	12,9	78,2	3,6	21,8	6,5	39,1	10,0	60,9	3,2	19,5	13,3	80,5
<b>Reste Europe centrale</b>	1,7	100,0	0,0	0,0	1,7	100,0	0,0	0,0	1,0	61,5	0,6	38,5
<b>Annexe B</b>												
<b>Japon</b>	28,0	42,5	37,8	57,5	14,0	21,3	51,8	78,7	7,0	10,6	58,8	89,4
<b>Nouvelle Zélande + Australie</b>	12,7	36,7	21,9	63,3	6,4	18,4	28,2	81,6	3,2	9,2	31,4	90,8
<b>Total</b>	<b>348,6</b>	<b>43,7</b>	<b>449,1</b>	<b>56,3</b>	<b>179,6</b>	<b>22,5</b>	<b>618,1</b>	<b>77,5</b>	<b>90,0</b>	<b>11,3</b>	<b>707,7</b>	<b>88,7</b>

Lecture : dans le cas où une valeur r=0,9 serait retenue, la France devrait réaliser 68,8 % des réductions d'émissions en interne (soit 11,3 MtC), les 31,2 % restant pouvant être couverts par les mécanismes de flexibilité (achat de permis et de certificats de réduction MDP).

Ce tableau fait apparaître une disparité très importante dans la situation des différents pays :

- les Etats–Unis, la région Nouvelle Zélande + Australie et le « Reste des pays de l’Union Européenne du Nord » verraient leur accès aux marchés fortement limité par rapport aux autres pays ;
- *a contrario*, l’Allemagne est peu contrainte par la supplémentarité. Dans le cas où  $r = 0.8$ , la contrainte n’est d’ailleurs pas effective et l’Allemagne peut recourir entièrement au marché sans effectuer d’effort interne, alors que pour les pays cités précédemment, plus de 60 % des réductions doivent être domestiques. Il convient de signaler ici que l’Allemagne présente la particularité de réduire ses émissions entre 1990 et 2010 (selon la projection du modèle Poles, hors mesures liées au protocole de Kyoto).

Par ailleurs, si l’on veut une contrainte significative pour les principaux pays (au moins  $r=0,9$ ), la quantité maximale d’achat de permis ou de certificats devient suffisamment faible pour que le prix du marché soit probablement très bas, à moins de limiter fortement le hot air. Le renforcement de la contrainte de supplémentarité en terme quantitatif entraîne alors son desserrement sur le plan financier.

#### **2.4. LA SUPPLEMENTARITE POURRAIT AUSSI ETRE OBTENUE PAR UN CRITERE DE PRIX**

Ce qui précède montre qu’avec une supplémentarité basée sur un indicateur d’effort, on retrouve certaines critiques que l’on peut faire à une supplémentarité basée sur un système de plafonds. Ainsi, une règle de supplémentarité basée sur des quantités bute sur plusieurs problèmes : d’une part, l’intensité de la contrainte qu’elle crée est généralement contrastée suivant les pays ; d’autre part, ces simulations ont mis en évidence qu’une limite aux achats, par exemple, fait baisser les prix et s’apparente donc à un comportement stratégique des acheteurs, contestable à ce titre.

Ceci milite pour étudier l’abandon d’une supplémentarité conçue sur une base quantitative et s’orienter vers une règle plus axée sur les prix. La simple création d’un prix plancher créerait inversement une rente pour la Russie. En définitive, un prélèvement à la tonne de carbone sur l’ensemble des mécanismes de flexibilité pourrait permettre de concrétiser une supplémentarité minimale, d’autant que cette disposition ne poserait aucun problème de contrôle puisqu’aucune incitation à la fraude ne pourrait alors exister.

### III. VARIANTES COMPLEXES SIMULANT LES MECANISMES INSTITUTIONNELS

#### 3.1. ANALYSE DU MECANISME DE DEVELOPPEMENT PROPRE (MDP)

##### *Problématique générale*

Le mécanisme de développement propre (MDP) correspond à une extension du marché des permis de droits d'émissions aux pays hors Annexe I, puisqu'il permet aux parties de l'Annexe I d'acquérir des crédits dans les zones géographiques hors Annexe I. Cependant, il est certainement très exagéré de modéliser le marché entre pays de l'Annexe avec MDP comme un marché mondial libre. Plusieurs types de raisons restreindront en effet les potentialités de l'ouverture du marché aux pays en développement :

- **les coûts de transactions.** D'après le Fond français pour l'environnement mondial (FFEM), la Banque Mondiale les évaluerait à environ 200 000 \$ par projet. Ce montant recouvrerait des coûts juridiques associés au contrat entre parties et des coûts liés à la vérification de l'éligibilité du projet au MDP. Pour le FFEM, cela limiterait l'application du MDP aux projets importants (au moins 2 à 3 millions de dollars de gains en crédit et donc probablement au moins 10 à 15 millions de dollars d'investissement).
- **la nature des projets conduisant à des réductions d'émissions.** Tous les projets ne seront pas de nature à être éligibles au MDP. L'adoption éventuelle d'une « liste positive » en est la meilleure preuve. Mais surtout, la condition d'additionalité limitera, de façon plus ou moins importante suivant l'application qui en sera faite, les possibilités du MDP.

Le cas, présenté le 26 septembre 2000 par le FFEM, d'une extension très importante du réseau de gaz dans l'agglomération de Mexico, offre un bon exemple : le gain en terme de carbone est énorme, mais doit-on en créditer l'entreprise retenue (Gaz de France) ou les autorités mexicaines, sachant que le choix de GdF n'apporte pas, par rapport à ses concurrents, d'avantage environnemental spécifique.

- Plus généralement, une partie seulement des projets potentiels seront réalisés, ne serait ce que pour des raisons liées à la faiblesse des capacités institutionnelles locales soulignées par le FFEM.

Il ressort de ces considérations que l'on sera probablement très éloigné d'un comportement de marché parfait, mais dans des proportions qui dépendront de façon cruciale des modalités de mise en œuvre et de contrôle, lesquelles sont à ce jour largement inconnues :

- des procédures allégées pour les projets relativement modestes permettront-elles, en réduisant les coûts de transactions, d'étendre de fait le MDP à ces projets ?
- les restrictions en terme de nature des projets et les critères d'additionalité seront-ils sévères ou au contraire laxistes ?
- dans quelles mesures l'intervention d'organismes institutionnels (comme la Banque Mondiale) ou la création de bourses permettront-elles de fluidifier le « marché » du MDP ?

Ajoutons à cela que la mise en place d'un prélèvement du type « share of proceeds » contribuerait à limiter le champ du MDP.

### ***Modélisation.***

On considère ici qu'il n'y aura pas de prélèvement du type « share of proceeds », que l'on peut rajouter par ailleurs (cf. 3.2).

Une première possibilité, souvent évoquée, consiste à introduire des coûts de transactions sur l'ensemble des projets. Les premières simulations réalisées avec la maquette ont d'ailleurs été effectuées en représentant le MDP comme un marché mondial avec des coûts de transaction (de l'ordre de 20 ou 30 %) sur les échanges avec les pays hors Annexe I. Certaines de ces simulations sont présentées dans ce document.

Ce qui précède laisse en fait penser que les coûts réels de transaction ne dépasseraient pas 5 à 10 % des projets donnant effectivement lieu à MDP (ils représenteraient d'ailleurs plutôt un coût fixe qu'un pourcentage). Mais l'application de ces coûts n'entraînerait qu'une faible réduction du marché potentiel du MDP : avec un taux de 10 %, 98 % du marché potentiel (en terme de tonnes de carbone) donneraient lieu, selon la maquette, à un échange effectif.

Si l'on veut simuler une réduction forte du marché par rapport aux potentialités, il faut alors supposer des coûts de transaction extrêmement élevés : avec un taux de 300 %, c'est à dire un prix multiplié par 4, le marché n'est réduit que d'à peine 1/3. L'utilisation de tels taux fictifs n'est bien sûr pas sans inconvénient sur le calcul du prix des permis et des coûts globaux. Par ailleurs, cette modélisation suppose implicitement que le marché du MDP retient les projets en fonction de leur coût marginal de réduction de la tonne de carbone, les projets retenus correspondant à ceux dont le coût marginal est le plus faible. Or cette vision, pour rationnelle qu'elle soit, constitue au vu du point 1 une vision très optimiste du MDP.

L'alternative que l'on a retenue consiste à restreindre de manière exogène les projets potentiellement disponibles. Pour cela, on agit sur l'ensemble du marché potentiel, à partir des courbes d'abattement reliant le coût, pour les pays développés, au nombre de crédits de réduction d'émissions susceptibles d'être obtenus par le MDP dans les PED. On supposera ainsi que le marché potentiel du MDP correspond à un marché réel plus étroit (dans un rapport  $0 < k < 1$ ), tout le long de la courbe d'abattement.

Plus précisément : si le marché potentiel est représenté par la courbe de coût marginal d'abattement  $c = C(Q)$  des pays hors Annexe I, où  $c$  est le coût de la dernière tonne de carbone évitée, et  $Q$  le nombre cumulé de tonnes de carbone évitées, alors on introduira le mécanisme du MDP comme l'extension du marché aux pays hors Annexe I en supposant que la courbe d'abattement  $C_e$  (effectivement mobilisable par le MDP) est telle que  $C_e(kQ) = C(Q)$ .

Avec la maquette de la DEEEE qui approxime les courbes de coût marginal d'abattement par des courbes du type  $C(Q) = aQ^2 + bQ$ , on a donc  $C_e(kQ) = C(Q) = aQ^2 + bQ$ . En posant  $q = kQ$ , on obtient  $C_e(q) = (a/k^2)q^2 + (b/k)q$ . Il suffit donc de remplacer les paramètres  $a$  et  $b$  des courbes d'abattement des pays hors Annexe I par  $a/k^2$  et  $b/k$ . La valeur de  $k$  à retenir dépendra naturellement de la mise en œuvre du MDP.

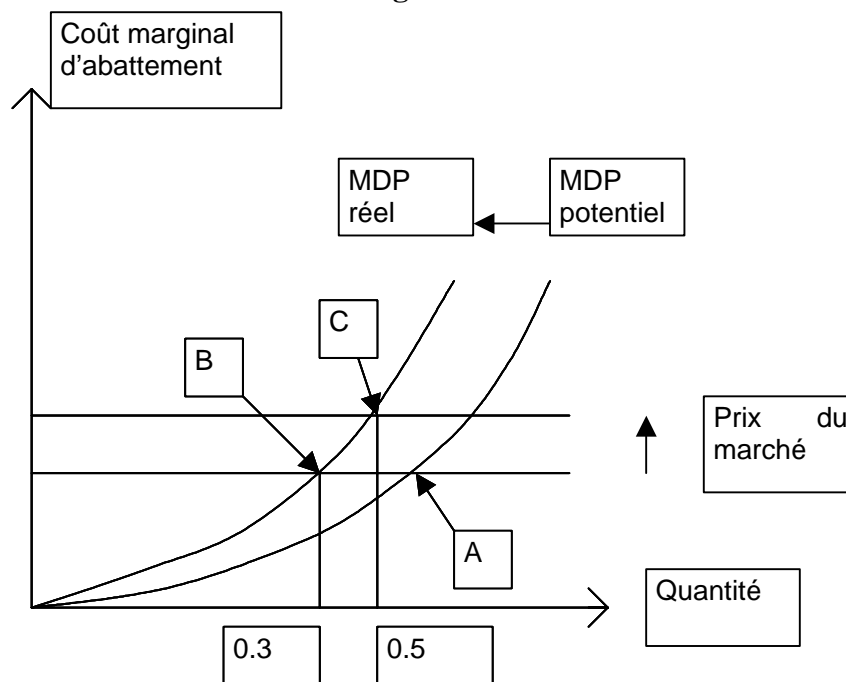
Avec la maquette, on obtient les résultats suivants :

**Tableau 16 : Réduction du marché**

Réduction du marché	Quantité de crédits émis par les pays hors Annexe I (MtC)	Prix du permis (\$ de 1995)
k=1 (marché mondial)	340	14 \$
k=0,5 (réduction de moitié du potentiel de MDP)	237	25 \$
k=0,4	205	29 \$
k=0,3	167	33 \$
k=0 (marché Annexe I)	0	55 \$

On constate qu'il faut prendre environ  $k=0,3$  pour que les quantités vendues représentent la moitié des quantités potentielles. Considérer que le marché réel MDP représente de façon homothétique 30 % du marché potentiel ne conduit donc pas à un nombre de tonnes de carbone échangées réduit de 70 % mais de 50 %. Ceci provient du fait que la restriction de l'offre entraîne une hausse du prix du marché global qui rend plus attractifs les projets du MDP. La figure 1 illustre ce phénomène : la hausse des prix (lignes horizontales) fait que l'on ne passe pas du point A au point B mais au point C.

**Figure 1**



Le tableau ci-dessus illustre le choix de modélisation. Il montre par ailleurs que le prix du permis est lui même à mi-chemin entre celui du marché mondial et celui du marché Annexe I (on suppose ici que le prix est le même qu'il s'agisse de MDP ou non, puisque les coûts de transaction sont négligés).

Il est possible de rajouter à cette formalisation des coûts de transaction. L'impact d'un taux de 10 % demeure cependant faible : le scénario  $k=0,3 + 10\%$  de coûts conduit à 161 MtC et à un prix de permis de 34 \$ (31 \$ hors coûts de transaction sur MDP). Ces chiffres sont suffisamment voisins des 167 MtC et 33 \$ du scénario  $k=0,3$  pour que l'on puisse le plus

souvent négliger ces coûts.

### **3.2. ANALYSE D'UN « SHARE OF PROCEEDS » APPLIQUE AU MDP**

Dans les négociations liées à la mise en œuvre du protocole de Kyoto, le *share of proceeds* appliqué au mécanisme de développement propre (MDP) représente un prélèvement effectué sur les certificats de réduction d'émissions, ce prélèvement ayant vocation à « couvrir les dépenses administratives et aider les Parties qui sont particulièrement vulnérables aux effets défavorables des changements climatiques à financer le coût de l'adaptation », selon l'article 12.8 du Protocole de Kyoto. L'extension éventuelle du *share of proceeds* à la mise en œuvre conjointe et à l'ensemble des permis échangés fait l'objet de discussions, mais cette hypothèse n'est pas retenue ici.

La mise en œuvre du *share of proceeds* est en réalité envisagée de différentes manières. La maquette permet de montrer que la spécification retenue peut, pour un même résultat environnemental, avoir un impact important sur le coût et que l'option naturelle d'un prélèvement sur la valeur des échanges est à proscrire. Un prélèvement sur le nombre de certificats (quantité de carbone) est plus efficace.

#### ***Présentation des différentes variantes***

Trois variantes sont étudiés ici, parmi les 5 options envisagées par le secrétariat de l'UNFCCC dans son rapport UNFCCC/SB/2000/4 (page 96). Ce sont, en conservant la dénomination du texte :

- l'"option 2" : un *share of proceeds* basé sur le volume de certificat de réduction d'émission. On l'exprimera en dollars par tonne de carbone, mais on pourrait aussi l'exprimer en pourcentage du nombre de certificats qui sont prélevés ;
- l'"option 3" : un *share of proceeds* basé sur la valeur de l'investissement (réalisé par une entreprise d'un pays de l'Annexe I dans un pays hors Annexe I). On l'exprimera en pourcentage du coût du projet MDP ;
- l'"option 4" : le *share of proceeds* est défini comme un pourcentage de l'écart entre le coût des certificats de réduction d'émissions liés à un projet MDP, et le coût d'une réduction équivalente en ayant recours au marché de permis au sein des pays de l'Annexe I.

#### ***Hypothèses techniques sous-jacentes aux simulations effectuées***

Les simulations présentées ci-après ont été effectuées avec la maquette de la DEEEE, en utilisant les données du MIT. Les mêmes simulations ont été effectuées parallèlement avec les données de l'IEPE afin d'examiner la robustesse des résultats obtenues. Dans ce dernier cas cependant, le volume de *hot air* a été réduit arbitrairement à 200 millions de tonnes de carbone, contre 322 MtC pour l'IEPE (et 110 MtC pour le MIT).

Indépendamment du *share of proceeds*, le mécanisme du MDP a été modélisé ici en étendant le marché de permis de l'Annexe I à l'ensemble des régions, y compris pays en développement, moyennant un coût de transaction de 20 % pour tenir compte notamment des coûts de recherche des projets, en l'absence de véritable marché, et des frais de contrôle. Sur le marché des permis de l'Annexe I, des coûts de transactions réduits à 5 % ont été introduits.

En fait, cette modélisation du MDP est probablement exagérément optimiste (cf.3.1.). Le fait que cette maquette a évolué explique que la modélisation du MDP retenue ici ne soit pas celle préconisée en 3.1. (les différents chapitres ayant été ordonnancés ex post).

La sensibilité des résultats aux données exogènes (cf. ci-après) et ce problème du MDP font qu'il ne faut donc pas se fixer sur le niveau absolu des résultats. Par contre, les conclusions qualitatives, basées sur les valeurs relatives sont beaucoup plus robustes.

Le coût de la tonne de carbone correspondant au certificat de réduction d'émission est celui fourni par les courbes marginales d'abattement, auquel il faut rajouter les coûts de transaction et le *share of proceeds* qui sont considérés à la charge de l'investisseur.

Dans nos simulations, les trois variantes de « share of proceeds » ont été schématisées comme suit :

- option 2 : cette option de prélèvement en volume ne pose pas de problème particulier. Un montant fixe a été rajouté au coût de chaque tonne de carbone, ce qui revient à translater la courbe d'abattement ;
- option 3 : on a admis que le montant des investissements nécessaires à la réduction des émissions était représenté par la courbe d'abattement. Dès lors, on a appliqué à cette courbe une homothétie (en multipliant les coûts par un facteur constant  $1 + \text{taux}$ , tout au long de la courbe) ;
- option 4 : à la courbe marginale d'abattement, sensée représenter le coût du certificat, on a rajouté une fraction fixe de l'écart entre cette courbe et le prix du permis sur le marché de permis au sein de l'Annexe I (tant que la courbe se situe en dessous du prix du permis).

L'équilibre du marché avec MDP a été calculé (de façon itérative) en utilisant, pour les pays hors Annexe I, les nouvelles courbes ainsi calculées. Les montants de prélèvement correspondant à chaque cas de figure ont également été calculés.

### ***Principaux résultats***

Le tableau 17 indique, pour chacune des trois options, les résultats correspondant à deux niveaux de « share of proceeds » :

- celui qui aboutit à un surcoût total de 10 % pour l'Union européenne ;
- celui qui fournit le maximum de montant prélevé : au delà, la réduction du volume de projets réalisés au titre du MDP ne peut plus être compensée par la hausse du niveau de prélèvement. Ceci peut être visualisé sur le graphique en fin du présent point 3.3, montrant pour l'option 2 le montant total de prélèvement en fonction du niveau de *share of proceeds* exprimé en \$/tC.

Les résultats présentés ici sont :

- le montant du prélèvement obtenu ;
- le montant du surcoût total (réductions internes + certificats de réduction d'émissions + permis Annexe I) pour l'ensemble des pays de l'Annexe I par rapport à une situation sans « share of proceeds » ;
- le surcoût total en pourcentage pour l'Union Européenne ;
- le volume de certificats de réduction d'émissions. Ce volume représente, du fait du MDP, à la fois les émissions supplémentaires au sein des pays de l'Annexe I et la réduction des émissions hors Annexe I.

**Tableau 17 : Résultats correspondant à deux niveaux de « share of proceeds »**

Niveau de <i>share of proceeds</i>	Montant total de <i>share of proceeds</i>	Surcoût total pour les pays de l'Annexe I par rapport à l'absence de <i>share of proceeds</i>	Surcoût total pour l'Union Européenne par rapport à l'absence de <i>share of proceeds</i>	Volume de certificats de réduction d'émissions
<b>Option 2 (prélèvement en volume, exprimé en \$/tC)</b>				
2.1 \$/tC	1.4 Md\$	1.4 Md\$	10 %	680 MtC
62 \$/tC	20.4 Md\$ (= max.)	31.8 Md\$	260 %	329 MtC
<b>Option 3 (prélèvement en valeur, exprimé en pourcentage du prix)</b>				
18 %	1.0 Md\$	1.1 Md\$	10 %	665 MtC
760 %	7.4 Md\$ (=max.)	19.8 Md\$	180 %	315 MtC
<b>Option 4 (compensation de la différence de coût, exprimé en pourcentage)</b>				
15 %	1.7 Md\$	1.7 Md\$	10 %	694 MtC
100 %	11.4 Md\$ =max.)	11.4 Md\$	70 %	694 MtC

Sources : données MIT et maquette DEEEE

Les résultats en niveau sont assez différents lorsque l'on utilise les données de l'IEPE, avec le « hot air » réduit à 200 MtC : les montants prélevés sont grossièrement deux fois plus faibles, alors que les niveaux de « share of proceeds » tels que définis dans le tableau sont assez voisins. Cependant, l'analyse comparative des trois options et les réflexions avancées ci-après ne sont pas remises en cause.

Pour des niveaux de « share of proceeds » relativement bas (cf. scénarios avec 10 % de surcoût pour l'Union Européenne), ce mécanisme est avant tout redistributif : le coût pour l'ensemble des pays de l'Annexe I peut être considéré comme égal au montant de prélèvement. Cela signifie qu'il n'y a pas alors d'inefficacité économique importante, la raison étant que très peu de projets potentiels pour le MDP sont éliminés par l'instauration d'un « share of proceeds ». Cette analyse doit être nuancée pour l'option 3 pour laquelle on note déjà un écart entre les deux montants, ce qui traduit une certaine inefficacité.

A des niveaux élevés (cf. scénarios aboutissant au maximum de prélèvement), ces inefficacités apparaissent de façon criantes :

- le scénario 3 coûte 20 Md\$ aux pays de l'Annexe I, multiplie par 2,8 le coût total pour l'Union Européenne, et ne rapporte que 7 Md\$ de prélèvement. Ce très mauvais rendement peut s'expliquer ainsi : l'instauration d'un « share of proceeds » renchérissant les projets élimine ceux qui présentent les investissements par tonne de carbone évitée les plus importants. Lorsque, comme c'est le cas pour l'option 3, le prélèvement est proportionnel à ces montants d'investissement, la contraction du volume de MDP (certificats divisés approximativement par deux) aboutit à une réduction importante du montant de prélèvement, son assiette n'étant plus constituée que de projets à faible rendement « fiscal ».
- le scénario 2 est préférable. Le prélèvement maximum atteint 20 Md\$ et le surcoût correspondant 32 Md\$. Le rapport de ces deux montants montre que l'inefficacité de cette option est nettement plus faible que celle de l'option 3, tout étant importante à ce niveau de « share of proceeds ». Ceci s'explique par le fait que le montant de



prélèvement est le même pour toute tonne de carbone évitée, contrairement à l'option 3 (cf. analyse ci-dessus).

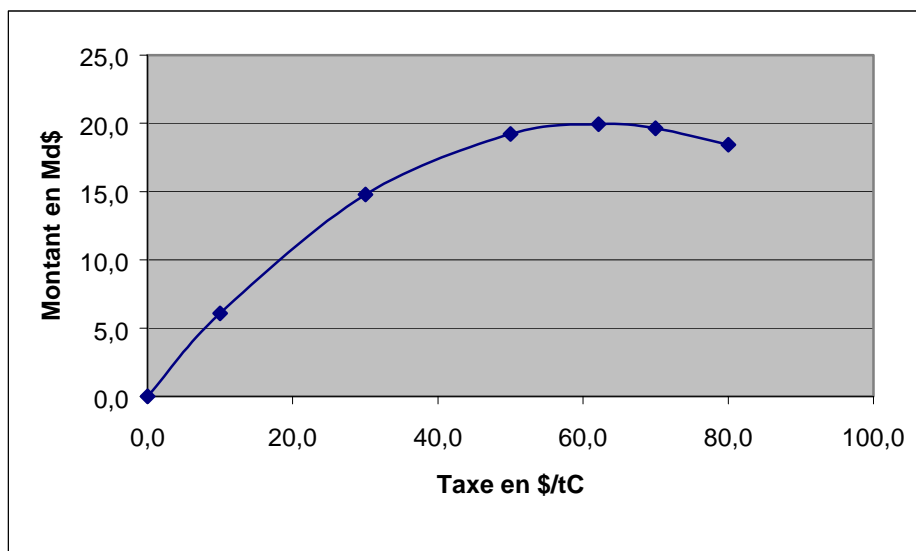
- le scénario 4 ne permet qu'un prélèvement maximum de 11 Md\$, mais n'entraîne pas de phénomène d'inefficacité. Il peut en effet être considéré comme un mécanisme de partage, entre pays hôte et pays investisseur, de l'avantage à utiliser le MDP par rapport au marché de permis au sein de l'Annexe I. Il n'a donc que des effets redistributifs, mais par contre son niveau est limité à 100 % (au delà aucun projet MDP n'est viable, puisque le certificat serait plus cher que le marché de permis). Sa mise en pratique ne serait cependant pas aisée, du fait de la tentation de fraudes.

En conclusion, le choix du mécanisme à retenir pour le « share of proceeds » est essentiel, un mauvais choix pouvant conduire à une inefficacité économique importante.

Ainsi, avec notre maquette, à rendement du prélèvement constant de 5 Md\$, la perte collective (surcoût pour les pays de l'Annexe I moins prélèvement) est réduite à 0,3 Md\$ avec un prélèvement en volume, s'élève à 2,4 Md\$ avec un prélèvement en valeur, alors qu'elle est (théoriquement) nulle avec l'option 4.

L'option 3 doit donc être évitée. L'option 4 est la meilleure au vu de ce qui précède, mais ses conditions de mise en œuvre et de contrôle peuvent comporter des difficultés. L'option 2 (prélèvement en volume) constitue en définitive l'option la plus intéressante, en particulier si le niveau de « share of proceeds » reste limité, ce qui en tout état de cause est souhaitable. La figure 2 montre en effet que pour un niveau élevé le rendement est moins bon et que le montant prélevé finit par décroître.

**Figure 2 : Prélèvement en volume (option2) : Montant total du *share of proceeds* en fonction du niveau de la taxe**



Ce graphique est à rapprocher du niveau du prix des permis sur les marchés entre pays de l'Annexe I : sans « share of proceeds », il serait de 25 \$/tC environ.

### 3.3. ANALYSE D'UNE « SAFETY VALVE » (PRIX PLAFOND APPLIQUE AUX PERMIS)

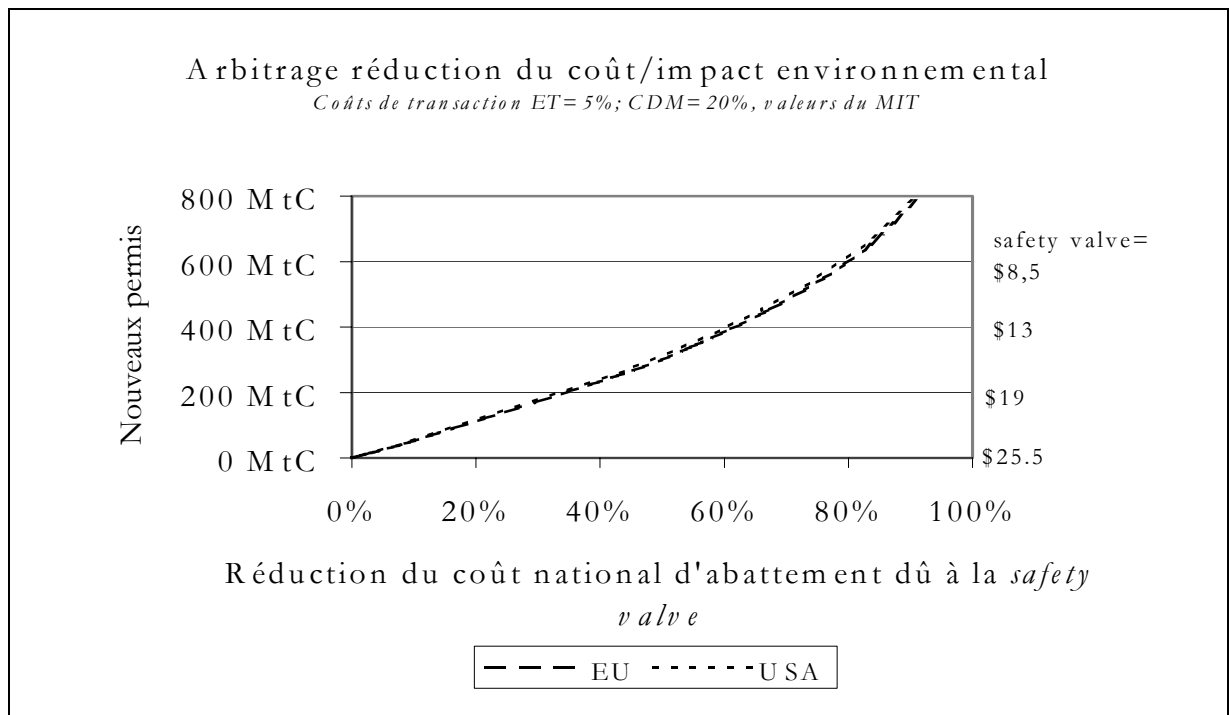
Dans les négociations sur l'effet de serre, les Etats-Unis ont proposé d'établir une "safety valve", c'est à dire un prix maximal garanti. Véritable soupape, elle fonctionne économiquement comme une pénalité d'un même montant assise sur les quantités de carbone excédant l'objectif, et plafonne le coût du respect de Kyoto pour les pays acheteurs de permis. C'est donc une « manette » politique à régler sur l'acceptabilité du protocole de Kyoto. En parallèle, la valve implique la création de nouveaux permis *ex nihilo*. Jouer de la *safety valve*, c'est donc arbitrer entre dommage environnemental et coût de respect des engagements. Placée à un niveau excessivement haut, elle manque à sa mission de rendre le protocole de Kyoto supportable par les pays riches. Et fixée à un niveau "bas" habituellement contraignant, elle risque de dénaturer le contenu environnemental du protocole.

Cette analyse se base sur la maquette de la DEEEE en reprenant les données exogènes du modèle du MIT, et en modélisant le MDP à partir d'un prélèvement sur les certificats (share of proceeds). Cette modélisation est probablement exagérément optimiste (cf. 1.3), mais ceci ne doit pas affecter les conclusions essentiellement qualitative de cette analyse.

***Une safety valve permet un allègement de coûts, mais provoque une fuite de permis***

Le recours à la *safety valve* crée *ex nihilo* de nouveaux permis. En garantissant un prix maximal, elle autorise des dépassements des objectifs de Kyoto. Cette "fuite" de carbone est d'autant plus importante que la *valve* est fixée à un niveau faible. Avec les valeurs du modèle du MIT, abaisser de 1 \$ la *safety valve* augmente les émissions de 30 MtC environ. C'est une fuite très sensible sachant par exemple que les USA doivent réduire leurs émissions en 2010 de 570 MtC en dessous du scénario de référence (*Business as Usual*) et que le prix de marché libre est ici de 25 \$.

**Figure 3 : Nombre de permis supplémentaires en fonction de l'effort des USA et de l'Union Européenne.**



Cette "fuite" augmente les dommages environnementaux dus à l'effet de serre. La valve figure donc un arbitrage entre "dommage environnemental" et "coût économique de lutte contre l'effet de serre". La figure 3 représente cet arbitrage en montrant le relâchement de l'effort d'abattement qu'obtiennent les USA ou l'UE. La proximité des deux courbes montre que les USA et l'UE ont autant à gagner de cette valve. Il en va de même pour le Japon ; quant à la Russie, elle perd à un rythme presque aussi rapide puisque son « air chaud » (hot air) est désormais concurrencé.

Le volume du MDP est amoindri par cette valve qui est une nouvelle option proposée aux pays acheteurs. Placée à la moitié du prix anticipé du marché, la *safety valve* réduit le volume de MDP de 35 % environ. C'est donc un outil efficace de maîtrise du MDP. L'effet de la valve pour contenir le MDP est plus fort que celui d'une taxe sur le MDP (*share of proceeds*). Le MDP est la ressource la plus tangible des pays hors Annexe I. La *safety valve* leur retire les projets les plus chers et donc éventuellement les plus intéressants pour eux.

Finalement, la valve à un niveau habituellement contraignant est un outil puissant d'allègement de la facture des pays acheteurs de permis aux dépens de l'environnement et des pays porteurs de hot air. C'est une sécurité contre l'inconnu des marchés à venir. En conséquence, comme le prix normal de marché est mal connu, il est presque impossible de placer une *safety valve* à un niveau précis d'effet environnemental. Ceci est d'autant plus difficile que l'outil est sensible.

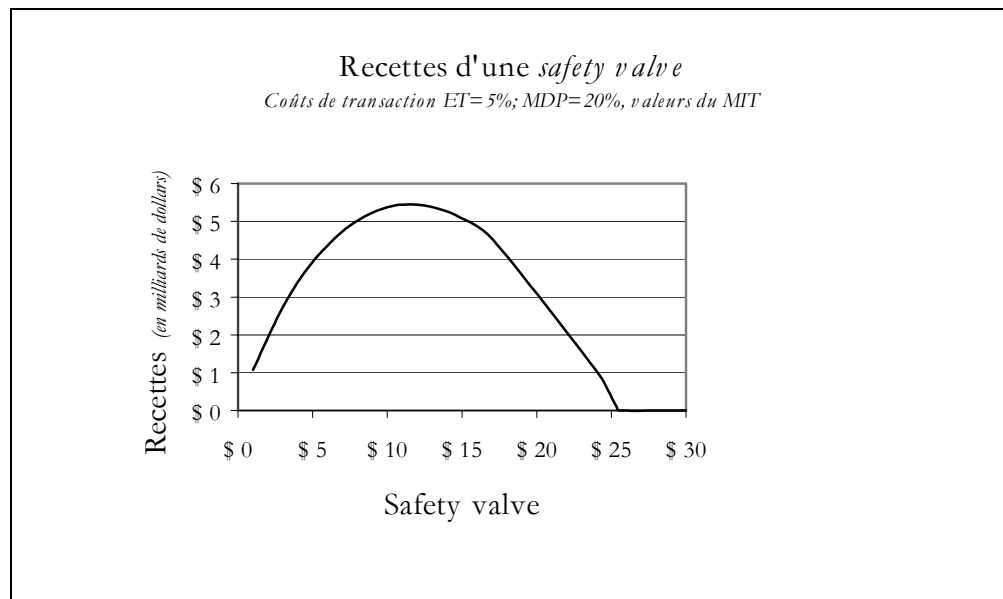
#### **Recyclage des recettes de la safety valve**

Vendant des permis qui n'ont rien coûté à produire, la *safety valve* collecte des recettes. Cet argent peut-être recyclé :

- dans le fonds d'adaptation des pays hors Annexe I et ne compte donc plus dans l'effort de réduction ;
- dans le MDP ou des enchères sur des projets hors Annexe I ;

- dans le rachat de *hot air*.

**Figure 4 : Recettes dues à une *safety valve***



Pour de hautes valeurs de *safety valve* (proche de 25 \$, c'est-à-dire le prix de marché sans contrainte), abaisser la *valve* de 1 \$ augmente les recettes de 700 millions de \$.

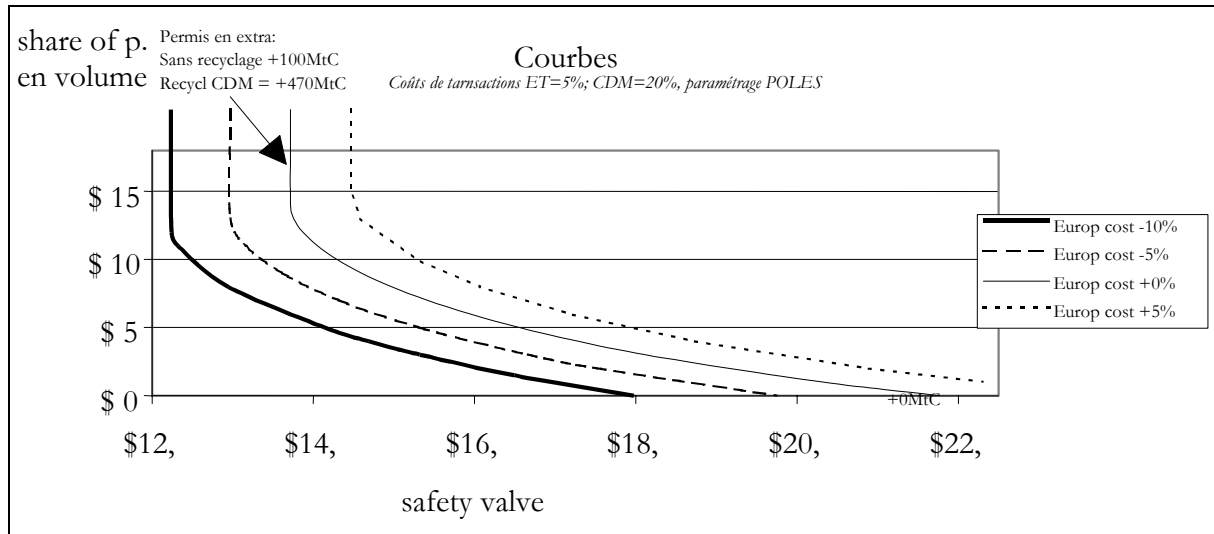
- Le **recyclage en fonds d'adaptation** aux modifications climatiques tentera les négociateurs qui verront cette nouvelle manne, dont les recettes n'ont pas été pré-affectées comme celles du *share of proceeds*. Mais le fonds d'adaptation n'a aucun effet vertueux de réduction de la "fuite" de carbone. Cependant les montants prélevés sont de l'ordre de plusieurs milliards de dollars, soit un niveau équivalent à une *share of proceeds* sur le MDP.
- Le **recyclage en projets MDP** diminue drastiquement le nombre de nouveaux permis émis *ex nihilo*. Pour une valve pas trop contraignante (entre le prix de marché et sa moitié), le taux de nouveaux permis évités décroît de 100 % à 50 %. Dans cette zone, le volume de MDP reste globalement constant. Maintenant le MDP, ce recyclage favorise donc les pays hors Annexe I. En même temps, il réduit les émissions et donc les dommages environnementaux dus à l'effet de serre. C'est donc une forme d'utilisation des recettes particulièrement intéressante.
- Le **recyclage en rachat de *hot air*** serait de nature politique. En termes économiques, si le fonds peut acheter le *hot air* à un prix inférieur au marché, il rachètera tout le *hot air* lui-même ; mais ce jeu économique sera certainement limité politiquement. Cette solution de *hot air* racheté pour une somme forfaitaire fixe (et non au prix de marché) est donc certainement intéressante.

#### *Arbitrer entre les mécanismes*

Les mécanismes de *safety valve* et de *share of proceeds*<sup>1</sup> sur le MDP sont en compétition parce qu'ils influent tous deux sur le prix de marché. En outre, ils agissent en sens opposés donc peuvent s'annuler mutuellement, d'où les courbes d'isocoût de la figure. En revanche, leurs effets négatifs sur le MDP s'additionnent.

<sup>1</sup> Nous considérons ici la *share of proceeds* en volume (x \$ par certificat de réduction d'émission) parce que cette option est la préférable. Cf. 3.

**Figure 5 : Courbes d'iso-niveau pour la facture européenne : arbitrage entre *safety valve* et *share of proceeds* (en volume)<sup>2</sup>**



<sup>2</sup> La partie verticale des courbes correspond à une zone sans MDP (la *share of proceeds* est supérieure à la valve). La référence (niveau +0 %) est le niveau du marché sans *safety valve* ni *share of proceeds*.

Ces courbes correspondent à un niveau fixé de la facture européenne. La *safety valve* est le mécanisme dominant qui altère le fonctionnement des autres : en fixant le prix, il bloque tout effet de boucle par le prix. Or le *share of proceeds* l'utilise largement. Le resserrement des courbes en abscisses montre que la *safety valve* est très efficace déjà à petites doses.

Les effets des deux mécanismes s'ajoutent pour réduire le MDP. Ainsi, pour un coût européen inchangé par rapport au cas sans *safety valve* ni *share of proceeds*, et une *share of proceeds* de 8 \$/tC (donc une *safety valve* de 15 \$), le volume de MDP est réduit de moitié. Ce taux baisse à 5 % environ si les recettes sont recyclées en projets MDP. Sans recycler les recettes en projets MDP, la combinaison de la *safety valve* et du *share of proceeds* est très efficace pour limiter le MDP.

Le hot air et la *safety valve* sont similaires. Les deux mécanismes ont le même effet sur le marché : relâcher la pression sur l'effort et apporter des permis en plus qui ne supposent pas de coût d'abattement supplémentaire. C'est donc le même outil dans un emballage différent et donc avec une maniabilité différente. La différence est également redistributive. Si le hot air envoie ses bénéfices dans les caisses des pays concernés, la *safety valve* les met dans un pot commun.

L'équivalence à faibles niveaux se fait sur la ligne "réduction de 5 % du hot air équivaut à un rehaussement de la *safety valve* de 1 %."

Du point de vue du fonctionnement du marché, la *safety valve* à niveau "bas" apporte une information certaine sur le prix maximum ; c'est donc un signal anormalement fort. La réduction de hot air se contente de jouer sur la courbe d'offre ce qui est une méthode plus classique. Finalement, il est difficilement concevable de maintenir une *safety valve* à un niveau "bas" c'est à dire habituellement contraignant. Si tel doit être le cas du fait de pénurie de marché, c'est l'édifice entier du marché de permis et de respect des engagements de Kyoto qui est défaillant. Il semble dès lors plus pertinent de jouer sur le hot air que la *safety valve* à niveau bas.

Il peut par contre être utile d'utiliser une *safety valve* mais à un prix véritablement élevé, à la limite de l'acceptabilité politique des engagements de Kyoto, et recycler les recettes de façon à limiter fortement les fuites globales de carbone. Ce niveau élevé ne devrait pas être atteint en fonctionnement normal. En d'autres termes, il faut réserver à la valve son rôle de garde fou mais se méfier de son utilisation pour de fins ajustements économiques sur l'effort de Kyoto.

### **3.4. COMBINAISON DE DIFFERENTS INSTRUMENTS.**

Lorsque l'on cherche à définir ce que pourrait être un « paquet » global, susceptible d'être négociable par l'ensemble des parties, on bute sur deux types de problèmes :

- Les objectifs de complémentarité, de minimisation des coûts et de financement ne sont pas toujours compatibles : une exigence de complémentarité forte entraîne des surcoûts importants, en renonçant à une optimisation globale alors que les coûts d'abattement sont très variables entre parties (cf.2) ; un financement des pays en développement nécessite un *share of proceeds* élevé, source de surcoûts importants même au niveau global (cf. 3.2).
- Les incertitudes sur les paramètres permettant de prévoir ce que sera un marché de permis sont importantes : les projections macroéconomiques d'ici la période 2010-2012 connaissent une marge d'erreur élevée, la quantité de hot air russe et les conditions de sa mise sur le marché sont largement inconnues, les évolutions

technologiques et les coûts d'abattement au sein de chaque pays ne sont que des modélisations, l'organisation du MDP peut être stricte ou laxiste. Pour ces principales raisons, qui sont de natures très variées, il est difficile d'exclure complètement l'éventualité de voir, à un moment donné, un prix des permis très faible ou très fort. En tout cas, l'idée que de tels événements puissent avoir lieu risque de bloquer tout accord.

Un « paquet » acceptable pour tous pourrait alors combiner, en première période, un prélèvement modéré sur les échanges, complété par un prix plafond. Un tel encadrement du marché permettrait de réduire les incertitudes. Il présenterait le double avantage d'assurer une exigence de supplémentarité minimale mais parfaitement quantifiée grâce à un prélèvement garantissant un prix plancher de la tonne de carbone échangée, et par ailleurs d'être plus facilement acceptable par l'ensemble des parties grâce à un prix plafond qui limiterait à un niveau prévisible le coût global pour chaque pays.

Un prélèvement sur les permis négociables pourrait assurer simplement, et sans problème de contrôle, l'existence d'un prix plancher. Le *share of proceeds* qui s'appliquerait par ailleurs au mécanisme de développement propre (MDP) jouerait un rôle analogue.

Le prix plafond correspond à une clause de sauvegarde : chaque pays aurait droit à acheter à ce prix la quantité de permis souhaitée. Economiquement, il fonctionne comme une pénalité en cas de non respect des engagements.

Contrairement au *share of proceeds* dont l'utilisation en faveur des pays en développement est déjà prévue dans le protocole de Kyoto, l'affectation des ressources éventuellement apportées par le prix plafond, ainsi que l'utilisation du prélèvement sur les permis, resteraient à définir. Elle pourrait être utilisée de façon à améliorer l'efficacité de la lutte contre le changement climatique. Ainsi, les fonds recueillis pourraient par exemple servir à racheter du *hot air* ou à financer des projets MDP.

Ce « paquet » ne présentera toutes ces vertus que si les paramètres chiffrés restent dans des valeurs raisonnables :

- un prix plafond trop bas mettrait en cause l'intégrité environnementale du protocole en favorisant la création de permis supplémentaires ;
- un prélèvement excessif sur les permis augmenterait les coûts de protection à engager en limitant les possibilités de réallocation des efforts et pourrait tarir le financement escompté ;
- un *share of proceeds* trop fort pénaliserait les projets MDP et donc l'investissement dans les pays en développement ; il pourrait même devenir contre-productif pour le montant recueilli.

A titre d'exemple, pour illustrer les fonctionnalités de la maquette de la DEEEE, on indique dans le tableau les résultats d'une simulation particulière, étant entendu que c'est justement la variabilité des hypothèses et des résultats qui justifie les orientations proposées ci-dessus.

**Tableau 18 : Marché de permis**

		<b>Union Européenne</b>	<b>Etats-Unis</b>	<b>Annexe I</b>
<b>Prix permis</b>	48\$ (achat) 38\$ (vente)			
<b>Coût total/PIB</b>		0.06 %	0.17 %	0.07 %
<b>Part de réduction interne</b>		46 %	45 %	
<b>Volume de MDP</b>	182 MtC			

*Source : maquette DEEEE avec coefficient de réduction du marché MDP de 0,3 ; données exogènes de POLES, mais avec une quantité de hot air réduite à 200 MtC ; share of proceeds de 10 \$/tC ; prélèvement sur les permis de 10\$/tC.*



## Conclusion

Au travers des travaux présentés dans ce document de travail, se dégage l'intérêt de pouvoir effectuer des simulations du marché de permis au moyen d'un outil maniable et dont on dispose en propre. Cet intérêt réside finalement peu dans le pouvoir – assez faible - de prédiction du modèle (niveau du prix par exemple), mais dans le fait de mettre en évidence (souvent grâce à des calculs en variante) des phénomènes économiques que l'analyse peut ensuite expliquer mais qu'il n'était pas aisé de formuler directement. Les trois exemples ci-après éclairent cet apport des simulations, sur trois plans différents :

- La complémentarité (en particulier le plafond des achats de permis) tend, économiquement, à créer un monopsonne : en comprimant la demande, face à une offre inélastique liée à l'air chaud russe, elle peut faire s'effondrer le prix des permis sur ce marché.
- L'équilibre du marché tel qu'on peut le simuler est très sensible aux incertitudes liées aux modèles et aux projections économiques. Mais au-delà, le marché est très sensible aux conditions de sa mise en œuvre. En l'absence d'une bonne visibilité sur la quantité de hot air et les conditions de sa mise en vente sur le marché, ainsi que sur l'organisation du MDP et l'application des critères d'éligibilité des projets, le prix d'équilibre sur le marché de permis peut balayer une plage importante.
- L'examen des coûts globaux par pays ou par régions montre que ce sont les pays de l'Ombrelle qui devront s'acquitter de la facture la plus lourde et qui sont les plus sensibles à une limitation de l'accès au marché.

Ce document a également essayé de montrer comment ces conclusions techniques pouvaient être prises en compte dans la réflexion sur les négociations liées au changement climatique.

Les travaux présentés ont été réalisés à l'aide d'une maquette conçue dans l'urgence de la préparation de la conférence de La Haye (COP 6) et dont les fonctionnalités ont été progressivement étendues. Il est désormais temps de consolider l'acquis en stabilisant cette maquette de façon à en faire un outil à la fois facile à utiliser, bien documenté, et en même temps (et c'est là que réside toute la difficulté) qui offre le maximum de souplesse. Celle-ci est indispensable car il n'est pas possible de connaître dès à présent l'ensemble des simulations que l'on sera amené à effectuer, ne serait-ce que parce que l'outil de simulation doit alimenter l'analyse économique destinée au décideur, ou à son entourage, et que, de ce point de vue, la situation est encore loin d'être figée.

Cette souplesse doit notamment se concrétiser sur plusieurs plans :

- pouvoir modéliser un grand nombre de types de mécanismes (MDP, prélèvements, complémentarité, prise en compte des puits, etc) ;
- pouvoir modéliser plusieurs mécanismes simultanément (par exemple complémentarité *et share of proceeds*) ;
- pouvoir modifier les données : projections selon un scénario au fil de l'eau, courbes d'abattement, objectifs (de Kyoto par exemple). La modélisation de certains mécanismes (puits notamment) passe d'ailleurs par la modification de l'objectif ;
- bénéficier d'une ventilation géographique maximale, de façon à pouvoir mener une réflexion prenant en compte un minimum de considérations géo-stratégiques ; mais en

même temps avoir les résultats par grandes zones (Union Européenne, Ombrelle, ensemble de l'Annexe I notamment) ;

- pouvoir modéliser à la fois Kyoto (2010) et post Kyoto (2030 par exemple), ce qui suppose en particulier d'avoir une ventilation assez fine de l'ensemble des pays hors Annexe I, et d'incorporer des données socio-économiques (population, PNB, et).

## ANNEXES

### ANNEXE A : SOURCES EXOGENES UTILISEES DANS LA MAQUETTE DE LA DEEEE

**Tableau 19 : Emissions**

	Valeurs du modèle EPPA			Valeurs du modèle POLES		
	1990 émis (MtC)	Ref émis. 2010	Kyoto	1990 émis (MtC)	Ref émis. 2010	Kyoto
USA	1362	1838	93,00%	1333	1716	93,00%
Japan	298	424	94,00%	297	345	94,00%
EU	822	1064	92,00%	891	985	92,00%
OOE	318	472	94,50%	221	290	99,15%
EET	266	395	104,00%	286	314	93,00%
FSU	891	763	98,00%	819	496	99,80%
EEX		927		466	583	
CHN		1792		652	1612	
IND		486		166	426	
DAE		308		272	532	
BRA		97		53	147	
ROW		532		360	743	

**Tableau 20 : Coûts d'abattement :  $P=aQ^2+bQ$**

	Valeurs du modèle EPPA		Valeurs du modèle POLES	
	a	b	a	b
USA	0,0005	0,0398	0,0003187	0,15789497
Japan	0,0155	1,816	0,0217018	1,55112825
EU	0,0024	0,1503	0,0020349	0,47243583
OOE	0,0085	-0,0986	0,0104108	1,26300908
EET	0,0079	0,0486	0,0093038	1,01094539
FSU	0,0023	0,0042	0,0022022	0,44004603
EEX	0,0032	0,3029	0,0048391	0,51926257
CHN	0,00007	0,0239	0,0002981	1,0107E-08
IND	0,0015	0,0787	0,0048427	0,62849526
DAE	0,0047	0,3774	0,0053452	0,49894225
BRA	0,5612	8,4974	0,1322263	1,98019625
ROW	0,0021	0,0805	0,0027965	0,15019197

## ANNEXE B : LES PUIITS DE CARBONE DANS LE PROTOCOLE DE KYOTO

Les conditions d'intégration des puits de carbone dans le Protocole de Kyoto soulèvent des interrogations particulières car elles nécessitent de prendre en compte d'une part les interactions au sein d'un même écosystème des différents gaz à effet de serre et, d'autre part, les incertitudes scientifiques qui demeurent à la fois sur l'appréciation de l'effet du changement climatique, complexe à analyser, et sur les puits de carbone en eux-mêmes (comportement, mesure, ...).

Contrairement à d'autres secteurs, comme l'énergie ou les transports, dans le secteur « agriculture, forêts et produits dérivés », il convient de considérer à la fois les émissions et les séquestrations de gaz à effet de serre. A cet effet, chacune des décisions prises (méthodes de comptabilisation, définitions des termes ou de l'écosystème, ...) a un poids important pour les différentes Parties du Protocole de Kyoto.

Si dans la majorité des études ou rapports consacrés à ce secteur, la séquestration de carbone est mise en avant et l'aspect « forêt » abondamment commenté, de l'avis de nombreux scientifiques, dans le cadre de la lutte contre le changement climatique, il est impossible de n'étudier qu'une faible part d'un écosystème et de négliger l'impact d'une séquestration de carbone vis à vis des autres gaz à effet de serre. Le but n'est pas de réduire les émissions d'un gaz donné mais de minimiser le réchauffement produit par l'effet combiné des différents gaz à effet de serre émis ou séquestrés lors des diverses activités. Il n'est pas par exemple suffisant de savoir qu'avec du zéro labour on peut accroître le stock de carbone dans les champs. Il faut aussi déterminer les variations des autres gaz à effet de serre (comme le méthane ou l'oxyde nitreux) engendrées par ces pratiques, avant de pouvoir conclure qu'une telle action est recommandée. L'intérêt est de connaître l'effet global de ces différentes actions au niveau des champs, des exploitations agricoles, des bassins ou d'un pays.

Pour exemple, le boisement des terres a de nombreuses conséquences [6] :

- ◇ le passage des terres cultivées à des forêts augmente en général la quantité de carbone stockée par hectare,
- ◇ mais **le passage d'une prairie naturelle à des forêts (ou l'inverse) se traduit par des variations de stocks négligeables** [3]. L'effet de stockage des peuplements forestiers est annulé par un déstockage de carbone important dans l'atmosphère résultant de la destruction de l'importante biomasse racinaire en plus d'avoir un effet sur la biodiversité,
- ◇ le bois matériau et les papiers et cartons peuvent prolonger pendant quelques temps le stockage du carbone (mais ne sont pas pris en compte par le Protocole de Kyoto),
- ◇ les biomasses récoltées ainsi que les produits à base de bois sous certaines conditions peuvent se substituer à des énergies fossiles et par conséquent réduire les émissions de ces derniers,
- ◇ la production et la mise en œuvre de bois matériau sont souvent plus économes en énergie et émettent moins de gaz à effet de serre que d'autres produits comme les poteaux métalliques ou en béton,
- ◇ enfin, sans accroissement de la productivité des terres agricoles, les forêts n'auraient pas pu s'étendre comme elles l'ont fait depuis le milieu du siècle dernier en Europe. Le niveau des effets bénéfiques dus aux boisements et reboisements serait donc

moins élevé sans cette intensification. Si la déforestation se poursuit en Afrique subsaharienne à un niveau aussi élevé c'est précisément faute d'avoir trouvé les moyens d'accroître, par le biais des politiques agricoles mises en œuvre, la production par hectare des terres déjà cultivées.

L'objet de cette note est d'une part de rappeler comment intervient l'intégration des puits de carbone au sein du Protocole de Kyoto et les interprétations qui peuvent en résulter. D'autre part, il s'agit d'exposer les points pour lesquels subsistent de nombreuses incertitudes scientifiques qui peuvent, en dernier lieu, affecter les méthodes de comptabilisation et de vérification devant être mises en place.

## **1. LES PUIITS DE CARBONE ET LEUR PLACE DANS LE PROTOCOLE DE KYOTO**

La prise en compte des puits de carbone dans le Protocole de Kyoto relève d'un desserrement de la contrainte pesant sur les pays de l'Annexe I vis à vis de leur objectif en terme de réductions d'émissions de gaz à effet de serre. Deux optiques sont considérées. D'une part, il s'agit d'une action sur la contrainte nationale, les puits de carbone étant considérés par le biais des articles 3.3 et 3.4. comme une réduction potentielle d'émissions de gaz à effet de serre, la contrainte pesant sur les réductions nationales à effectuer dans les autres secteurs, comme celui de l'énergie, étant alors moins importante. D'autre part, les puits de carbone sont intégrés dans les mécanismes de flexibilité, plus exactement dans le mécanisme de développement propre, afin de susciter des efforts dans les pays de l'Annexe I vers des pays à composante fortement agricole. Dans ce dernier cas, les pays de l'Annexe I peuvent obtenir un crédit d'émissions nettes pouvant être utilisé pour remplir leur objectif national ou être échangé par le biais du marché de permis d'émissions négociables. Dans le cas où, lors des négociations, obligation serait faite aux Parties d'effectuer une part de leurs réductions à l'échelon national, la prise en compte des puits de carbone dans les inventaires nationaux de gaz à effet de serre pourrait revêtir une grande importance.

### **1.1. COMPTABILISATION DES PUIITS DE CARBONE DANS LES EMISSIONS NATIONALES**

Les termes utilisés dans l'Article 3 (paragraphe 3 et 4) du Protocole de Kyoto ouvrent la porte à de nombreuses interprétations et possibilités.

Pour l'article 3.3<sup>3</sup>, qui évoque la prise en compte de l'impact direct des activités humaines en ce qui concerne le changement d'affectation des terres et les activités de foresterie, les termes employés sont assez restrictifs mais laissent tout de même ouvert un grand nombre de possibilités. Seuls les boisement, reboisement ou déboisement depuis 1990 sont pris en compte, ce qui peut exclure les sols. Cette restriction peut aussi pousser à n'envisager que les arbres et non l'écosystème forestier dans son ensemble. De plus, seuls les effets induits directement par des activités humaines sont pris en compte, ce qui peut ne pas simplifier la comptabilisation et la vérification.

---

<sup>3</sup> Article 3.3

Les variations nettes des émissions de gaz à effet de serre par les sources et de l'absorption par les puits résultant d'activités humaines directement liées au changement d'affectation des terres et à la foresterie et limitées au boisement, au reboisement et déboisement depuis 1990, variations qui correspondent à des variations vérifiables des stocks de carbone au cours de chaque période d'engagement, sont utilisées par les Parties visées à l'Annexe I pour remplir leurs engagements prévus au présent article. Les émissions des gaz à effet de serre les sources et l'absorption par les puits associées à ces activités sont notifiées de manière transparente et vérifiable et examinées conformément aux articles 7 et 8.

En fonction de ces indications, il serait possible d'examiner différentes activités humaines directes comme : les boisements de terres agricoles, les extensions des surfaces par suite des déprises agricoles (les friches), les défrichements conduisant à une réduction des surfaces forestières et les émissions par suite de la conversion des prairies en terres cultivées ou des prairies et des terres agricoles en terres non agricoles (autoroutes, constructions diverses, ...).

La prise en compte des activités ayant été jugée restrictive, une possibilité existe pour la Conférence des Parties, dans le cadre de l'article 3.4<sup>4</sup>, de décider d'étendre ces activités induites directement par l'homme à d'autres activités anthropiques liées au changement d'affectation des terres et aux activités de foresterie. Le sens en est assez flou et laisse la porte ouverte à de nombreuses possibilités. En effet, chaque Conférence des Parties, après consensus, peut donner lieu à des modifications en ce qui concerne les activités humaines prises en compte qu'elles soient induites directement par l'homme (comme pour l'article 3.3) mais aussi indirectes.

Plus clairement, ces activités pourraient être :

- ◇ l'aménagement des forêts non prises en compte dans l'article 3.3 comme la conversion des taillis en futaies, les régénérations naturelles ou artificielles par semis ou plantations, l'enrichissement des peuplements, la lutte contre les incendies et les maladies, la fertilisation, le rythme et le niveau des prélèvements des bois, la protection des forêts,... ;
- ◇ la gestion des terres agricoles non considérées comme des terres forestières, soit des activités comme le zéro labour, lutte contre l'érosion des sols, l'irrigation et le drainage, l'apport de matières organiques ou minérales augmentant la productivité des terres, ... ;
- ◇ la gestion des arbres en zones urbaines, périurbaines, industrielles, ... ;
- ◇ la gestion des prairies et des savanes, y compris celle des feux ;
- ◇ la gestion des rizières et des tourbières, en raison des émissions de méthane ;
- ◇ les variations de stocks de produits renouvelables (comme bois et papier dans l'habitat et généralement les biomasses).

Pour ces deux articles, sont mesurées des variations de stocks lors de la période d'engagement (la première étant 2008 - 2012) or, pour de nombreux scientifiques, la durée de

---

<sup>4</sup> Article 3.4

Avant la première session de la Conférence des Parties agissant comme réunion des Parties au présent Protocole, chacune des Parties visées à l'Annexe I fournit, à l'Organe subsidiaire de conseil scientifique et technologique, pour examen, des données permettant de déterminer le niveau de ses stocks de carbone en 1990 et de procéder à une estimation des variations de ces stocks de carbone au cours des années suivantes. A sa première session, ou dès que possible par la suite, la Conférence des Parties agissant comme réunion des Parties au présent Protocole arrête les modalités, règles et lignes directrices à appliquer pour décider quelles activités anthropiques supplémentaires ayant un rapport avec les variations des émissions par les sources et de l'absorption par les puits des gaz, à effet de serre dans les catégories constituées par les terres agricoles et le changement d'affectation des terres et la foresterie doivent être ajoutées aux quantités attribuées aux Parties visées à l'Annexe I ou retranchées de ces quantités et pour savoir comment procéder à cet égard compte tenu des incertitudes, de la nécessité de communiquer des données transparentes et vérifiables, du travail méthodologique du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, des conseils fournis par l'Organe subsidiaire de conseil scientifique et technologique conformément à l'article 5 et des décisions de la Conférence des Parties. Cette décision vaut pour la deuxième période d'engagement et pour les périodes suivantes. Une Partie peut l'appliquer à ces activités anthropiques supplémentaires lors de la période d'engagement pour autant que ces activités aient eu lieu depuis 1990.

cette période est jugée trop courte en regard du cycle du carbone.

## 1.2. MECANISME DE DEVELOPPEMENT PROPRE (MDP)

Le mécanisme de développement propre (MDP), décrit dans le Protocole de Kyoto, consiste en l'octroi d'un crédit d'émissions nettes pour les pays de l'Annexe I ayant développé dans un pays hors Annexe I un projet permettant d'éviter des émissions de gaz à effet de serre. Les pays hors Annexe I concernés par le MDP peuvent être distingués en deux groupes. D'une part, la Chine, l'Inde et le Brésil sont plutôt concernés par le développement de techniques industrielles plus « propres » car ils risquent de devenir les plus gros émetteurs de gaz à effet de serre. Les autres pays sont plutôt des pays à forte composante agricole.

Dans le cas de ces projets (article 12<sup>5</sup>), il serait alors possible de prendre en compte la séquestration du carbone par le biais des forêts, soit en évitant des émissions supplémentaires en protégeant les stocks de carbone qui existent dans les forêts, soit par l'accroissement des stocks de carbone dans les sols, dans les arbres et dans les arbustes des systèmes agroforestiers. *« La prise en compte de la séquestration du carbone permet de lutter contre la dégradation des sols et la désertification donc d'accroître la sécurité alimentaire et énergétique. Elle permet aussi, dans une certaine mesure, de diminuer la vulnérabilité aux*

---

### <sup>5</sup> Article 12

1. Il est établi un mécanisme pour un développement « propre ».

2. L'objet du mécanisme pour un développement « propre » est d'aider les Parties ne figurant pas à l'Annexe I à parvenir à un développement durable ainsi qu'à contribuer à l'objectif ultime de la Convention et d'aider les Parties visées à l'Annexe I à remplir leurs engagements chiffrés de limitation et de réduction de leurs émissions prévus à l'article 3.

3. Au titre du mécanisme pour un développement « propre » :

a) Les Parties ne figurant pas à l'Annexe I bénéficient d'activités exécutées dans le cadre de projets qui se traduisent par des réductions d'émissions certifiées ;

b) Les Parties visées à l'Annexe I peuvent utiliser les réductions d'émissions certifiées obtenues grâce à ces activités pour remplir une partie de leurs engagements chiffrés de limitation et de réduction des émissions prévus à l'article 3, conformément à ce qui a été déterminé par la Conférence des Parties agissant comme réunion des Parties au présent Protocole.

4. Le mécanisme pour un développement « propre » est placé sous l'autorité de la Conférence des Parties agissant comme réunion des Parties au présent Protocole et suit ses directives, il est supervisé par un conseil exécutif du mécanisme pour un développement « propre ».

5. Les réductions d'émissions découlant de chaque activité sont certifiées par des entités opérationnelles désignées par la Conférence des Parties agissant en tant que Réunion des Parties au présent Protocole, sur la base des critères suivants :

a) Participation volontaire approuvée par chaque Partie concernée ;

b) Avantages réels, mesurables et durables liés à l'atténuation des changements climatiques ;

c) Réduction d'émissions s'ajoutant à celles qui auraient eu lieu en l'absence de l'activité certifiée.

6. Le mécanisme pour un développement « propre » aide à organiser le financement d'activités certifiées, selon que de besoin.

7. La Conférence des Parties agissant comme réunion des Parties au présent Protocole élabore à sa première session des modalités et des procédures visant à assurer la transparence, l'efficacité et la responsabilité grâce à un audit et à une vérification indépendants des activités.

8. La Conférence des Parties agissant comme réunion des Parties au présent Protocole veille à ce qu'une partie des fonds provenant d'activités certifiées soit utilisée pour couvrir les dépenses administratives et aider les pays en développement, Parties qui sont particulièrement vulnérables aux effets défavorables des changements climatiques, à financer le coût de l'adaptation.

9. Peuvent participer au mécanisme pour un développement « propre », notamment aux activités mentionnées à l'alinéa a) du paragraphe 3 ci-dessus et à l'acquisition d'unités de réduction certifiées des émissions, des entités aussi bien publiques que privées ; la participation est soumise aux directives qui peuvent être données par le conseil exécutif du mécanisme.

10. Les réductions d'émissions certifiées obtenues entre l'an 2000 et le début de la première période d'engagement peuvent être utilisées pour aider à respecter les engagements prévus pour cette période.

*changements climatiques des zones semi-arides et subhumides sèches visées par la Convention sur la désertification.* » [1].

Cette prise en compte est effectivement cohérente dans le cadre du développement durable mais introduit de nombreux problèmes.

### ***1.2.1. Les biais éventuels***

Dans le cadre de l'article 12 du Protocole de Kyoto, ces réductions d'émissions obtenues ne peuvent être autorisées que dans le cas où elles sont additionnelles « à celles qui auraient eu lieu en l'absence d'activités certifiées ». Elles doivent donc conduire à des « avantages réels, mesurables et durables liés à l'atténuation des changements climatiques ». Il faut aussi savoir si, en l'absence de projet, les changements seraient tout de même intervenus pour que ces projets puissent être comptabilisés. Les méthodes de comptabilisation et la durée de séquestration du carbone sont l'objet de discussions scientifiques qui seront exposées plus loin. La prise en compte des puits par le biais du MDP peut être hautement incertaine étant donné les risques de biais de comptabilisation et les problèmes liés aux sources de données utilisées.

De plus, il faut noter que pour de nombreux scientifiques, la protection des forêts anciennes ou « neuves » - comme dans les pays de l'Annexe I – représente une option plus efficace pour séquestrer le carbone que le boisement [10].

### ***1.2.2. Les possibles effets pervers***

Les pays hors Annexe I ne sont pas redevables des actions comme les récoltes, les dégradations et les déboisements des forêts dont l'exploitation n'était pas prévue. Si le projet est associé avec le déboisement dans la même aire avant le début du projet, ou autre part comme une conséquence du projet, la balance de carbone sera négative. Or, seuls sont comptabilisés les crédits d'émissions nettes pour le pays de l'Annexe I, promoteur du projet dans le cadre de ce mécanisme. Cette mesure est donc très intéressante pour les pays de l'Annexe I mais ne peut l'être pour l'impact sur le changement climatique et le développement durable du pays hôte du projet que si un contrôle adéquat est mis en place afin de vérifier si ce projet a réellement contribué à l'atténuation des changements climatiques, en terme de variations de stocks sur une période donnée. Eventuellement, ces effets pervers du déboisement pourraient être évités si le MDP était restreint aux aires qui étaient déjà déboisées en 1990 avec une vérification du devenir immédiat ou à plus moyen terme de cette aire.

Cependant, en excluant a priori ce secteur, il existe une possibilité d'introduire une inégalité concernant l'accès aux mécanismes de développement propre, car, pour certains pays, l'agriculture est une priorité dans leur programme de développement durable : les pays d'Afrique seraient plus dans ce cas de figure que les pays d'Asie. Il faut noter que, sans accroissement de la productivité des terres agricoles, les forêts n'auraient pas pu s'étendre comme elles l'ont fait depuis le milieu du siècle dernier en Europe. Le niveau des effets bénéfiques dus aux boisements et reboisements serait donc moins élevé sans cette intensification. Si la déforestation se poursuit en Afrique subsaharienne à un niveau aussi élevé c'est précisément faute d'avoir trouvé les moyens d'accroître, par le biais des politiques agricoles mises en œuvre, la production par hectare des terres déjà cultivées.

Enfin, des boisements ou reboisements peuvent aussi avoir des effets néfastes - comme dans les pays de l'Annexe I - en terme de biodiversité. Il faudrait pouvoir, dans le cadre de ce programme particulier, articuler ce mécanisme avec les autres conventions internationales qui existent déjà sur la biodiversité et la désertification.



## GLOSSAIRE (source IPCC)

**Absorption** : processus tendant à faire augmenter la teneur en carbone d'un bassin ou d'un réservoir autre que l'atmosphère.

**Activité** : ensemble des pratiques employées dans une zone délimitée durant un temps défini.

**Base de référence** : scénario de référence par rapport auquel sont mesurées les variations touchant les émissions et la fixation des gaz à effet de serre.

**Bassin de carbone** : tout système ayant la capacité d'accumuler ou de libérer du carbone (ex : la biomasse forestière, les produits du bois, les sols, l'atmosphère). Ce terme est employé aussi comme synonyme de *réservoir*. Son contenu est exprimé en unité de masse (ex : tC).

**Biosphère** : partie de la sphère terrestre, siège de la vie sous toutes ses formes, ce qui comprend les organismes vivants ainsi que les matières organiques résultant de la vie (ex : litière, détritiques, sol).

**Carbone du sol** : expression employée ici afin de distinguer le bassin de carbone que constitue spécifiquement le sol. Cela inclut différentes formes de carbone organique (humus) et de carbone minéral, y compris le charbon de bois, mais ni la biomasse souterraines (ex : racines, bulbes, etc.), ni la faune des sols (animaux).

**Couvert terrestre** : couverture physique et biologique observée des sols, telles que la végétation ou des ouvrages érigés par l'homme.

**Culture itinérante** : pratique commune dans les forêts tropicales consistant à déboiser une certaine surface, au moins en partie, et d'y obtenir quelques récoltes pendant quelques années avant régénération de la forêt. Ce type de pratique est aussi appelé « *agriculture nomade* », « *nomadisme culturel ou agricole* » ou encore « *agriculture itinérante sur brûlis* », voire « *culture sur brûlis* ».

**Fixation** : synonyme de *piégeage* et d'*absorption*.

**Flux de carbone** : taux d'échange de carbone entre différents bassins, exprimé en unité de masse par unité de surface et unité de temps (ex : tC ha<sup>-1</sup>/an).

**Permanence** : durabilité d'un bassin de carbone et stabilité de ses réserves, compte tenu de son exploitation et des perturbations qu'il subit.

**Peuplement forestier** : plantation forestière collective, comprenant la biomasse aérienne et souterraine et le sol, suffisamment uniforme dans la composition des essences, la classe d'âge, l'organisation et les conditions pour pouvoir être considérée comme une entité pour les besoins de l'exploitation.

**Piégeage** : synonyme de *fixation* et d'*absorption*.

**Produits du bois** : produits dérivés du bois brut récolté dans les forêts, comprenant le bois de feu et les grumes ainsi que les produits dérivés, tels que les sciages, les contre-plaqués, la pâte à bois, le papier, etc.

**Puits** : tout processus ou mécanisme qui absorbe un gaz à effet de serre ou un précurseur de gaz à effet de serre présent dans l'atmosphère. Un bassin ou un réservoir donné peut être un puits de carbone atmosphérique et ce, durant un certain laps de temps quand il absorbe plus de carbone qu'il n'en libère.

**Régénération** : repeuplement par des moyens naturels (ensemencement sur place ou par des peuplements voisins ou semences apportées par le vent, des oiseaux ou d'autres animaux) ou par des moyens artificiels (jeunes plants ou graines).

**Réservoir de carbone** : synonyme de **bassin de carbone**.

**Source** : contraire de *puits*. Un bassin ou un réservoir peut être une source de carbone pour

l'atmosphère s'il libère plus de carbone dans l'atmosphère qu'il n'en absorbe.

**Stock ou réserve de carbone** : quantité absolue de carbone que contient un bassin de carbone à un moment donné.

**Utilisation des terres** : ensemble des dispositions, activités et apports par type de couvert terrestre (ensemble d'activités anthropiques). Les raisons sociales et économiques de l'exploitation d'une terre (ex : pâturage, extraction de bois d'œuvre, conservation).

## 2. DONNEES ET INCERTITUDES SCIENTIFIQUES

Un puits de carbone peut être affecté par de nombreux phénomènes et rien ne peut garantir réellement sa longévité. En effet, un puits de carbone peut ne pas être permanent (concept de non permanence) ou devenir aussi une source de carbone (concept de durée de vie et de variabilité inter annuelle). De plus, dans le cadre du Protocole de Kyoto, ne peuvent être pris en compte comme critère de comptabilisation pour les puits que les activités directement induites par l'homme, ce critère étant relativement difficile à évaluer.

Des recherches importantes sont en cours à l'heure actuelle *in situ* ou en laboratoire afin d'examiner les impacts du changement climatique et des différentes mesures envisagées. Néanmoins, les recherches sont pour l'instant différenciées selon la nature du gaz à effet de serre étudié et la nature du site ou de la catégorie du site, en raison de la complexité des paramètres dont il faut disposer. Cet état des lieux rend, pour l'instant, malaisée toute extrapolation des conclusions obtenues à un niveau régional, national voire international.

### 2.1. ATTRIBUTION D'UN PUIT A DES ACTIVITES DIRECTEMENT INDUITES PAR L'HOMME

Il est important de savoir quels sont les effets des activités directement ou indirectement induites (fertilisation carbonée, déposition azotée, ...) par l'homme et les effets naturels, seuls les activités directement induites par l'homme prenant place dans le Protocole de Kyoto. Le rapport spécial de l'IPCC suggère que : "*... il peut être très difficile, si ce n'est impossible, de distinguer avec les outils scientifiques actuels quelle part de la modification du stock observée est directement induite par l'homme et quelle part causée par des facteurs naturels ou indirects*" [8].

Pour les scientifiques ayant collaboré au dernier rapport de CARBOEUROPE [10], l'analyse des séries de données et des modèles pour les USA suggère que les effets induits indirectement par l'homme (fertilisation carbonée et déposition d'azote) sur les puits sont inférieurs de l'ordre de 5 à 30% à ceux induit directement. De plus, si les pratiques de gestion des terres, incluant l'abandon de terres cultivées, la suppression des feux et les modifications des techniques agricoles dominant en ce qui constitue le puits national de carbone aux Etats Unis, cette attribution ne peut être extrapolée à la totalité de la biosphère terrestre.

Ces attributions se doivent d'être réglementées. En effet, si l'on prend l'exemple d'un feu<sup>6</sup>, phénomène qui provoque un dégagement de carbone dans l'atmosphère très important, l'impact réel qu'il peut avoir sur la comptabilisation du carbone vis à vis des règles du Protocole de Kyoto est difficile à mesurer. La mesure concerne les activités directement induites par l'homme. Dans ce cas précis, on est en droit de se demander comment interviennent la prise en compte de la nature du feu (accidentel, naturel, criminel) et des actions mises en œuvre ou non pour le contenir et / ou l'éteindre. De plus, imaginons que l'on

<sup>6</sup> Des études montrent que les feux voient leur fréquence augmenter en liaison avec le changement climatique.

crée une forêt après 1990, qu'un feu accidentel la détruit, la comptabilisation des puits devient problématique. Ainsi, un boisement (ou reboisement) d'une forêt serait comptabilisé comme un puits alors que cette forêt n'existe plus et qu'elle a été une source d'émissions de carbone au cours de la période.

## **2.2. FUTILES INDUITES PAR LES ACTIVITES HUMAINES**

L'Europe a accru sa biomasse générée par les arbres mais il existe une la demande croissante en bois et fibres. Ainsi, les importations de bois de provenance non européenne peuvent expliquer environ 4 % de l'accroissement du puits forestier européen entre 1980 et 1998. Le résultat de cette pratique, spécialement dans les climats tropicaux, est une dégradation des forêts et son utilisation temporaire par l'agriculture. Après épuisement du sol, ces cultures sont abandonnées en attendant un boisement par le biais du MDP. Ce processus peut avoir un impact négatif non seulement sur la biodiversité, mais aussi sur les ressources en carbone du sol.

En conclusion, le problème des fuites se pose pour tous les projets MDP et tous les projets de puits de carbone dans les pays de l'Annexe I. Pour les projets individuels, il est possible de le résoudre grâce à des critères appropriés, par exemple en choisissant les aires pour les projets de puits.

## **2.3. NON PERMANENCE**

Le cycle terrestre du carbone est un système hautement dynamique et le carbone n'est généralement pas capturé de manière permanente. Deux importants réservoirs de carbone peuvent être reconnus au niveau des forêts :

- ◇ la biomasse forestière, sachant que sur une base de rotation entre récolte et régénération, la qualité et la durée de stockage du carbone peuvent éventuellement être mesurées,
- ◇ la matière organique du sol forestier, au sein de laquelle toute mesure du contenu en carbone semble particulièrement difficile.

Ils contiennent tous deux des compartiments qui stockent le carbone sur une durée pouvant aller de quelques années à quelques siècles. Le problème est donc de savoir combien de temps le carbone comptabilisé comme un puits de carbone dans le cadre du Protocole de Kyoto restera effectivement séquestré et comment le changement climatique pourrait affecter ce temps moyen de séquestration. D'après un rapport de CARBOEUROPE [10], protéger les stocks de carbone existants dans la biosphère terrestre pourrait avoir des effets positifs plus longs que de créer de nouvelles plantations intensives.

## **2.4. VARIABILITE INTER ANNUELLE**

*"Il se peut que, sur des terres visées aux articles 3.3 et 3.4, la variabilité naturelle (ex. : les cycles du phénomène El Niño) et les effets indirects des activités humaines (ex. : la fertilisation par le dioxyde de carbone, le dépôt des nutriments ou les effets des changements du climat) aient un effet non négligeable sur les stocks de carbone durant une période d'engagement. Des incertitudes pèsent tant sur la distribution spatiale des quantités de gaz à effet de serre émises et fixées en raison de ces facteurs que sur la partie de ces quantités que le système mis en place peut comptabiliser. Par comparaison aux engagements chiffrés qui s'appliquent à la première période d'engagement, ces quantités pourraient être relativement élevées. Il conviendrait donc de s'en inquiéter au cours de la conception d'un système de*

*comptabilisation.*" [8]

En effet, dans les années 80, l'absorption par la biosphère terrestre était de 1,9 milliards de tonnes de carbone par an et elle atteignait 2,3 milliards de tonnes de carbone dans les années 90. Mais cette quantité peut varier de 100 % d'une année sur l'autre.

Cette variabilité interannuelle provient pour sa plus large part de la biosphère terrestre<sup>7</sup>. La variabilité du climat peut être un facteur explicatif des modifications dans la balance du carbone des écosystèmes, la photosynthèse et la respiration dépendant des modifications du rayonnement solaire, de la température et des précipitations.

L'analyse de la température et de la végétation suggère des réponses variées des différents écosystèmes avec différents retards. Pour la température, ces réponses sont significatives pour les forêts tempérées et boréales. Des mesures directes de flux ont aussi montré qu'une petite modification, par exemple un printemps inhabituellement chaud, peut provoquer de grandes interférences dans la balance de carbone des forêts.

En sus de ces phénomènes de photosynthèse et de respiration, de nombreuses perturbations extérieures, qui peuvent modifier le stockage du carbone (infestations d'insectes, feux en région méditerranéenne ou dans les forêts boréales, ...), peuvent être aussi influencées par les modifications du climat et la variabilité du climat.

Il est difficile d'évaluer la part des effets induits directement ou indirectement par l'homme et celle des effets naturels sur les puits de carbone en raison de la variabilité naturelle du climat. Choisir une longueur appropriée pour les futures périodes d'engagement permettrait de mieux suivre les fluctuations naturelles. La première période d'engagement est de quatre années, ce qui peut sembler, en regard de la variabilité interannuelle, trop court. Les scientifiques ayant collaboré au dernier rapport de CARBOEUROPE [8] privilégient l'hypothèse d'une période de dix années au moins pour la mesure des variations de stocks liées à la biosphère terrestre.

## **2.5. COMPORTEMENT FUTUR D'UN PUIT**

Pour le futur, de nombreuses interrogations subsistent sur l'impact des modifications climatiques sur les puits de carbone, que ce soit sur leur capacité à séquestrer le carbone ou le temps de séquestration. Dans ce sens, si aucune mesure n'est prise pour réduire les émissions de fuels fossiles, les puits terrestres pourraient n'avoir, sur les stocks de carbone, qu'un effet temporaire qui pourrait être réversible après 25 à 50 ans.

C'est pourquoi il devient crucial d'accroître la compréhension du cycle du carbone et la capacité à gérer les flux biosphériques dans l'espace et le temps dans une perspective de long terme.

---

<sup>7</sup> L'évolution des émissions de fuel fossiles tend à être relativement régulière dans le temps : les variations d'une année sur l'autre sont inférieures à 4 % du total. Les données sur les océans et les modèles de carbone sur la totalité des océans suggèrent que les flux de carbone entre air et mer sont relativement stables dans le temps. La biosphère terrestre peut sans doute expliquer la majorité des variations inter annuelles du taux de concentration de CO<sub>2</sub> observé.

### **3. COMMENT COMPTABILISER UN PUIT DE CARBONE**

#### **3.1. UN PROBLEME DE DEFINITION**

Les termes de boisement, reboisement et déboisement ainsi que celui de forêt recouvrent de nombreuses définitions selon les professions qui les emploient (juristes, forestiers, comptables, ...) et surtout selon les différents pays. Un rapport récent de l'UNFCCC [9] donne un aperçu de ces difficultés en reprenant toutes les définitions et leurs corollaires fournis par les différents pays. Pour exemple, le terme de « boisement » équivaut-il à la plantation d'un arbre, d'un bosquet, .... ? De plus, la différence entre un boisement et un reboisement intervient-elle parce que la terre utilisée n'était pas une forêt en 1990, depuis 50 ans, un siècle, plusieurs ?

Pour le reboisement, deux définitions aux conséquences très différentes s'affrontent (Cf. Annexe : Estimation des moyennes annuelles des variations des stocks de carbone prises en considération pour les activités de boisement, reboisement, déboisement). Pour les études du Programme International Géosphère Biosphère (IGBP) et pour l'IPCC, si l'on qualifie de « boisements » les plantations sur des terres qui, depuis très longtemps n'ont pas porté d'arbres et de « reboisements » les plantations sur des terres qui ont porté des arbres il y a quelques années, alors les boisements et reboisements se confondent dans la plupart des pays de l'Annexe B. Pour la FAO en général et pour les forestiers, le reboisement consiste à renouveler les peuplements après exploitation par exemple après une coupe rase.

Il serait illusoire de vouloir être exhaustif ici, mais ces différences peuvent effectivement poser un problème en ce qui concerne les comparaisons internationales.

#### **3.2. METHODES DE COMPTABILISATION**

Deux approches de comptabilisation s'affrontent. D'une part, la comptabilisation partielle recommandée par l'IPCC et la comptabilisation globale prônée par différents scientifiques. Dans cette deuxième approche, tous les flux sont pris en compte (les sols sont aussi considérés et non plus uniquement les forêts) et tous les gaz (le boisement peut sur certains sols provoquer un dégagement de méthane piégé auparavant). Néanmoins, pour cette comptabilisation globale des variations de stocks de carbone, il n'est pas précisé les réservoirs de carbone comptabilisés : biomasses aériennes, biomasses souterraines (jusqu'à quelle profondeur ?), ...

Pour le Protocole de Kyoto, il faudrait, à défaut de pouvoir obtenir une comptabilisation globale des variations de carbone dans les biomasses, pouvoir préciser les conditions (types de mesures, coûts, ...) dans lesquelles on pourrait mesurer les contributions des différentes activités en forêt et le type d'inventaire et de comptabilité qu'il serait raisonnable d'envisager.

#### **3.3. LA PRISE EN COMPTE DES INCERTITUDES**

Quelle que soit la méthode de comptabilisation envisagée, de nombreuses incertitudes subsistent dans l'évaluation des émissions nettes des différents gaz à effet de serre. Ces incertitudes peuvent être très importantes et ne doivent pas être négligées.

D'après un rapport sur les puits en Russie de l'IIASA [7], les incertitudes associées à chacune des composantes des émissions de carbone ne sont pas toutes connues et les méthodes d'estimations des incertitudes ne sont valables que pour la comptabilisation en 1990 et non pour les scénarios de 2010. D'après ces estimations, le calcul de la balance totale des

flux de carbone (incluant le secteur de l'énergie, les secteurs industriels et l'écosystème terrestre) montre qu'en 1990 la Russie était une source nette de 527 millions de tonnes de carbone (MtC). Mais, le niveau important de l'incertitude fait que cette estimation peut varier entre -155 et +1209 MtC. Les importantes incertitudes dans la comptabilisation du carbone excèdent le changement calculé dans la balance des flux totaux pour la période 1990-2010, ce qui remet en cause la fiabilité de n'importe quel système utilisé pour mesurer la contribution des écosystèmes terrestres en ce qui concerne les obligations du Protocole de Kyoto.

### 3.4. LA VERIFICATION

A la fin de la période d'engagement, afin de pouvoir vérifier si l'objectif de Kyoto a été atteint par les différentes Parties, il faut que l'on puisse vérifier les inventaires, et donc que ceux-ci utilisent les mêmes méthodes, définitions et classifications. Pour l'instant, les méthodes de comptabilisation utilisées par les différentes parties n'étant pas homogènes et quelques pays n'ayant plus d'appareil d'Etat pouvant souscrire réellement à cette obligation, cette comparabilité et la vérification du total des émissions semblent difficiles à mettre en œuvre.

**Tableau 21 : Estimation des moyennes annuelles des variations des stocks de carbone prises en considération pour les activités de BRD (boisement, reboisement, déboisement)**

		Intervalles estimatifs des moyennes annuelles des variations des stocks de carbone prises en considération 2008– 2012 (MtC/an) (inclus : le carbone dans la biomasse aérienne et souterraine, exclu : le carbone dans le sol et dans la nécromasse)			
		Scénario de définitions de la FAO			Scénario de définitions de l'IPCC
Région	Activité	Calcul I basé sur les terres	Calcul II basé sur les terres	Calcul basé sur les activités	
<b>Région boréale</b>	BR	-209 à -162	-56 à -8	5 à 48	0 à 2
	D	-18	-18	-18	-18
<b>Total (= Annexe I)</b>	Total BRD	-227 à -180	-74 à -26	-13 à 30	-18 à -16
<b>Région tempérée</b>	BR	-550 à -81	-134 à 303	81 à 519	7 à 44
	D	-72	-72	-72	-72
<b>Annexe I</b>	Total BRD	-622 à -153	-206 à 231	9 à 447	-65 à -28
<b>Total Annexe I</b>	BR	-759 à 243	-190 à 295	87 à 573	7 à 46
	D	-90	-90	-90	-90
	Total BRD	-849 à 333	-280 à 205	-3 à 483	-83 à -44
<b>Région tempérée Total</b>	BR	sans objet	sans objet	sans objet	27 à 167
	D	-126	-126	-126	-126
	Total BRD	sans objet	sans objet	sans objet	-99 à 41
<b>Région tropicale Total</b>	BR	sans objet	sans objet	sans objet	170 à 415
	D	-1644	-1644	-1644	-1644
	Total BRD	sans objet	sans objet	sans objet	-1474 à -1229
<b>Grand total (somme des totaux par région)</b>	BR	sans objet	n / a	sans objet	197 à 584
	D	-1788	-1788	-1788	-1788
	Total BRD	sans objet	sans objet	sans objet	-1591 à -1204

Source : IPCC

#### Notes de lecture :

- ◇ BR - Taux moyen de fixation (tC ha-1 /an)
- ◇ D - Stock moyen (tC ha-1)
- ◇ Les scénarios de définitions du GIEC et de la FAO ont été utilisés avec trois méthodes de comptabilisation pour montrer, à l'aide des données disponibles, l'effet que ces différentes

méthodes pouvaient avoir sur les résultats. Les chiffres et les intervalles de valeurs figurant dans le Tableau sont fournis à titre indicatif; ce sont des estimations du premier ordre et ils peuvent ne pas tenir compte de l'ensemble des incertitudes. Les valeurs négatives indiquent les émissions de carbone, tandis que les valeurs positives signalent les quantités de carbone absorbées ou fixées.

- ◇ sans objet – aucun chiffre n'est indiqué car l'on ne disposait pas des superficies des zones régénérées après récolte dans une partie de la région tempérée et dans la région tropicale. De plus, il est difficile de tenir compte, suivant le scénario de définitions de la FAO, d'une régénération après éclaircies sélectives, une pratique courante dans les zones tropicales.
- ◇ Le scénario de définitions du GIEC comprend les transitions entre terres boisées et terres non boisées en application de l'article 3.3. Pour les besoins du Tableau, on suppose que le boisement et le reboisement regroupent non seulement les activités de plantation, mais aussi d'autres formes de peuplement, telles que le peuplement naturel.
- ◇ Le scénario de définitions de la FAO comprend le cycle récolte/ régénération, car la régénération entre dans la définition du reboisement. Dans le scénario de définitions de la FAO, on distingue trois systèmes de comptabilisation différents (décrits au paragraphe 25 et à la section 3.3.2 du Chapitre 3 du rapport spécial de l'IPCC, Résumé à l'intention des décideurs).
- ◇ Les taux moyens de fixation sont censés couvrir l'intervalle des valeurs moyennes prévues pour toutes les régions. La limite basse des intervalles estimatifs des moyennes annuelles des variations des stocks de carbone correspond au taux de fixation le plus faible pour les activités de boisement et de reboisement et la limite haute, au taux de fixation le plus élevé. On suppose que les arbres poussent suivant une courbe de croissance sigmoïde. L'estimation de la superficie des terres non boisées converties en terres boisées doit être considérée comme une limite supérieure pour le total de la région tempérée et pour la région tropicale, car certains pays peuvent avoir signalé les plantations pour 1990, mais pas pour 1980, et aussi parce que certaines activités de plantation peuvent ne pas être retenues comme découlant d'activités de boisement et de reboisement dans le scénario de définitions du GIEC. Les incertitudes pesant sur les estimations pour les activités de déboisement dans les pays tropicaux étant importantes, les valeurs peuvent comporter une erreur de  $\pm 50$  pour cent.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] « La convention cadre sur le climat et le protocole de Kyoto ; Conséquences pour l'agriculture, les forêts et les changements d'utilisation des terres », Arthur RIEDACKER
- [2] « Les stocks et les flux de gaz à effet de serre dans le domaine de l'agriculture, des forêts et des produits dérivés, en France et dans quelques autres pays industrialisés », Arthur RIEDACKER
- [3] « Stocks de carbone dans les sols de France : quelles estimations ? », Dominique ARROUAYS et al.
- [4] « Stocks et flux de carbone dans les forêts françaises », Jean-Luc DUPOUEY et al.
- [5] « Options techniques et socio-économiques de réduction des émissions de CO2 et d'augmentation de stocks de carbone », Claude ROY
- [6] « Conclusions de la table ronde : Perspectives pour la recherche et l'action de lutte contre l'effet de serre dans l'espace rural », Arthur RIEDACKER  
dans : Comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France, « Bilan et gestion des gaz à effet de serre dans l'espace rural », Vol. 85 - n°6 - 1999
- [7] « Full Carbon Account for Russia », IIASA (S. Nilsson, A. Shvidenko, V. Stolbovoi, M. Gluck, M. Jonas et M. Obersteiner), 22 août 2000.
- [8] « Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie, *Résumé à l'intention des décideurs* », Rapport spécial du GIEC (IPCC), 2000.
- [9] « Methodological issues / Land-Use, Land-Use Change and Forestry / Consolidated synthesis of proposals made by Parties, Note by the chairman », UNFCCC (FCCC / SBSTA / 2000 /9), 25 août 2000.
- « Accounting for Carbon Sinks in the Biosphere - European Perspective », CARBOEUROPE (Riccardo Valentini, Han Dolman, Philippe Ciais, Detlef Schulze, Annette Freibauer, Dave Schimel, Martin Heimann)



## **ANNEXE C : LA PRISE EN COMPTE DES PUIITS : LA « PROPOSITION PRONK »**

Dans les négociations sur la lutte contre le changement climatique, la prise en compte éventuelle des puits est devenue l'un des principaux sujets de divergence entre l'Union Européenne et les pays de l'Ombrelle :

- Pour les européens, les incertitudes scientifiques et les problèmes de mesure interdisent de prendre en compte les puits, sous peine de courir le risque de vider le protocole de Kyoto de son contenu environnemental. La mesure des variations nettes d'absorption anthropique de gaz à effet de serre par les puits est en effet extrêmement complexe. Il en résulte un risque de relâchement des engagements de réduction dû notamment à la difficulté de traiter symétriquement « crédits » et « débits » d'émissions.
- Pour les pays de l'Ombrelle, il n'y a pas de raison d'exclure les puits dont la prise en compte est prévue, quoique de façon très floue, dans le protocole. Cet attachement s'explique par ailleurs par le fait que ces pays (Etats Unis et Japon notamment) connaissent d'importants dérapages de leurs émissions par rapport à leurs objectifs de Kyoto (cf. ci-après).

Juste avant la fin des négociations de COP 6 à La Haye, un projet de compromis a été soumis (« proposition Pronk »). Sa composante « puits » dans les pays de l'Annexe I est examinée ici dans sa dimension quantitative. En d'autres termes, on propose ici d'apprécier plus précisément à qui elle profiterait et dans quelle mesure elle modifierait le niveau des engagements d'efforts pris par les pays de l'Annexe I.

### **LES DISPOSITIONS DE LA PROPOSITION PRONK**

Dans le protocole de Kyoto, deux articles traitent de la prise en compte des puits dans la comptabilisation des émissions des pays de l'Annexe B :

- L'article 3.3 évoque la prise en compte de l'impact direct des activités humaines en ce qui concerne le changement d'affectation des terres et certaines activités de foresterie.
- L'article 3.4 traite de la possibilité, pour la conférence des parties, de décider de la prise en compte d'autres activités anthropiques liés aux sols et à la forêt.

Les propositions du président Pronk intégreraient les possibilités ouvertes par l'article 3.3 et distingueraient, au sein de l'article 3.4, deux « intervalles » :

Au titre du premier, chaque partie pourrait comptabiliser jusqu'à 100% du débit comptabilisé au titre de l'article 3.3, dès lors qu'il est avéré que sa forêt croît effectivement (cela revient à annuler les émissions liées à l'article 3.3). La quantité retenue au titre du premier intervalle est cependant bornée à 30 MtCO<sub>2</sub> (soit environ 8 MtC).

Au titre du 2<sup>ème</sup> intervalle, on retiendrait 15 % des quantités absorbées en raison des aménagements forestiers et 70 % des quantités absorbées en raisons des autres activités.

La quantité retenue au titre de l'article 3.4 serait égale à la somme des deux intervalles, dans la limite de 3 % des émissions de l'année de référence (en général 1990). Pour obtenir la quantité finale retenue, il convient d'ajouter (ou retrancher) la quantité calculée au titre de l'article 3.3.

## LES QUANTITES DE CARBONE EN JEU.

Le tableau 19 reprend, pour chaque pays, les éléments de calculs permettant d'estimer les quantités de carbone qui pourraient résulter de la proposition Pronk, sous réserve naturellement d'un contrôle effectif des quantités déclarées. Ils sont basés sur des données transmises par la MIES<sup>8</sup>, en provenance des pays eux-mêmes ou de la FAO. La dernière colonne indique les quantités obtenues (un signe négatif indique une absorption nette de carbone, un signe positif, une émission nette du fait des puits).

Pour l'ensemble de l'Annexe I, on arrive à une absorption d'un peu moins de 50 MtC, soit 1 % des émissions de 1990<sup>9</sup>. Les Etats-Unis en seraient les principaux bénéficiaires, avec 43 MtC (soit 2,6 % des émissions de 1990). Ceci s'explique à la fois par l'importance des émissions de ce pays (phénomène d'échelle), et le fait qu'il est l'un de ceux pour lesquels le pourcentage est le plus fort (importance du poste d'aménagement forestier). Quelques pays bénéficient d'un pourcentage plus élevé (en particulier la Nouvelle Zélande), mais leur niveau d'émissions est modeste. Le Japon ne pourrait soustraire que 0,5 % de ses émissions au titre des puits, tout comme l'Union Européenne. Quant à la Russie, elle serait affectée de 9 MtC d'émissions en plus, ce qui diminuerait d'autant le hot air.

---

<sup>8</sup> Contact avec François Wencélius

<sup>9</sup> Pour la Russie, la Finlande, l'Australie et les Pays Bas, cette proposition pourrait signifier un renforcement des efforts qui leur seraient demandés. On peut dès lors craindre certaines difficultés à la faire respecter. La suppression des efforts supplémentaires pour ces pays conduirait à un volume global de 60 MtC au titre des puits au lieu de la cinquantaine annoncée.

**Tableau 22 : Estimation des quantités de carbone correspondant à la proposition Pronk sur les puits**

	Emissions 1990	Article 3.3 en % 1990	Article 3.4	Article 3.4 2ème intervalle					Article 3.4	Total	Total	Total
			1er interv	Aménag.	Retenu =	Autres	Retenu =	Total 2 <sup>ème</sup>	Total retenu	3.3 + 3.4	3.3 + 3.4	3.3 + 3.4
			en % 1990	Forestier en % 1990	15% en % 1990	activités en % 1990	70% En % 1990	Intervalle en % 1990	en % 1990	en % 1990	en MtCO2	en MtC
Autriche	77	<b>0</b>	<b>0</b>	-25	-3,8			-3,8	-3,0	-3,0	-2,3	-0,6
Allemagne	1212	<b>0,1</b>	<b>-0,1</b>	<b>-2,6</b>	-0,4			-0,4	-0,5	-0,4	-4,7	-1,3
Belgique	137			-0,6	-0,1			-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0
Danemark	70	<b>-0,5</b>		-1,6	-0,2			-0,2	-0,2	-0,7	-0,5	-0,1
Espagne	309			-5,4	-0,8			-0,8	-0,8	-0,8	-2,5	-0,7
Finlande	75	<b>5,3</b>	<b>-5,3</b>	<b>-22,6</b>	-3,4			-3,4	-3,0	2,3	1,7	0,5
France	554	<b>-0,6</b>		<b>-1,7</b>	-0,3			-0,3	-0,3	-0,9	-4,7	-1,3
Grèce	108			-2,1	-0,3			-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,1
Irlande	54	<b>-6,3</b>		-2,4	-0,4			-0,4	-0,4	-6,7	-3,6	-1,0
Italie	520	<b>-0,3</b>		<b>-0,9</b>	-0,1			-0,1	-0,1	-0,4	-2,3	-0,6
Luxembourg	13			-2,5	-0,4			-0,4	-0,4	-0,4	0,0	0,0
Pays-Bas	219	<b>-0,1</b>		<b>-0,1</b>	0,0	<b>3,5</b>	2,5	2,4	2,4	2,3	5,1	1,4
Portugal	64			-8,3	-1,2			-1,2	-1,2	-1,2	-0,8	-0,2
Suède	71	<b>0,5</b>	<b>-0,5</b>	<b>-23,3</b>	-3,5			-3,5	-3,0	-2,5	-1,8	-0,5
Royaume- Uni	766	<b>-0,3</b>		<b>-1,2</b>	-0,2	<b>-0,1</b>	-0,1	-0,3	-0,3	-0,6	-4,2	-1,2
Total UE	4249									-0,5	-21,1	-5,8
Australie	481	<b>5,2</b>		<i>-31,6</i>	-4,7	<b>-1,7</b>	-1,2	-5,9	-3,0	2,2	10,6	2,9
Canada	600	<b>2,6</b>	<b>-2,6</b>	<b>-5,9</b>	-0,9	<b>-2,2</b>	-1,5	-2,4	-3,0	-0,4	-2,4	-0,7
Islande	3	<b>-3,5</b>		-2,7	-0,4	<b>-7,3</b>	-5,1	-5,5	-3,0	-6,5	-0,2	-0,1
Japon	1228	<b>0,2</b>	<b>-0,2</b>	<b>-3,4</b>	-0,5			-0,5	-0,7	-0,5	-6,3	-1,7
Nlle Zélande	73	<b>-38,7</b>		-24	-3,6			-3,6	-3,0	-41,7	-30,4	-8,3
Norvège	52	<b>-0,1</b>	<b>-0,1</b>	-32	-4,8			-4,8	-3,0	-3,1	-1,6	-0,4
Russie.	3040	<b>4,1</b>	<b>-1</b>	<b>-18,9</b>	-2,8			-2,8	-3,0	1,1	33,4	9,1
Suisse	53	<b>0,1</b>	<b>-0,1</b>	-4,9	-0,7	<b>-0,1</b>	-0,1	-0,8	-0,9	-0,8	-0,4	-0,1
USA	6070	<b>0,4</b>	<b>-0,4</b>	<b>-17,4</b>	-2,6	<b>-1,4</b>	-1,0	-3,6	-3,0	-2,6	-157,8	-43,1
Total											-176,2	-48,1

Source : données transmises par la MIES (les nombres en gras proviennent des pays eux-mêmes, ceux en italiques proviennent de la FAO). Les calculs ont été effectués par la DEEEE.

Les pays non mentionnés ne sont a priori pas concernés par les propositions Pronk.

Bien évidemment, les facilités offertes par la proposition Pronk allégeraient les efforts à réaliser pour respecter les objectifs de Kyoto. Ceux-ci demeureraient cependant contraignants, et les différents pays ne seraient pas dispensés de réaliser des efforts. Le tableau 20 montre dans quelle mesure les différents pays sont sur le chemin qui conduit aux objectifs de Kyoto. Il permet de constater, par exemple, que les Etats-Unis ont déjà augmenté leurs émissions de 10 % par rapport à 1990, la tendance étant, de plus, à une augmentation soutenue, alors que le protocole leur fixe une baisse de 7 %. Les 2,6 % éventuels au titre des puits seraient donc loin de suffire.

**Tableau 23 : Comparaison des émissions de 1998 avec l'objectif de Kyoto (après répartition au sein de la bulle européenne).**

*Pourcentages par rapport aux émissions de l'année de référence définie pour l'application du protocole (en général 1990).*

<b>Pays de l'Union Européenne</b>	<b>Objectif de Kyoto (%)</b>	<b>Emissions 1998 (%)</b>	<b>Pays de l'Annexe I, en transition vers une économie de marché</b>	<b>Objectif de Kyoto (%)</b>	<b>Emissions 1998 (%)</b>
Allemagne	-21	-15,9	Estonie	-8	-46,6
Autriche	-13	+4,6	Hongrie	-6	-18,6
Belgique	-7,5	+6,0	Lettonie	-8	-67,7
Danemark	-21	+8,7	Pologne	-6	-28,7
Espagne	+15	+19,4	République Tchèque	-8	-22,2
Finlande	0	+1,2	Slovaquie	-8	-30,6
France	0	+1,0	Ukraine	0	-50,5
Grèce	+25	+15,8	Bulgarie	-8	-46,7
Irlande	+13	+19,1	Roumanie	-8	nc
Italie	-6,5	+4,2	Fédération de Russie	0	nc
Luxembourg	-28	nc	Lituanie	-8	-53,7
Pays Bas	-6	+8,2	Slovénie	-8	nc
Portugal	+27	+17,2	Croatie	-5	nc
Royaume Uni	-12,5	-9,5	<b>Autres pays Annexe I</b>		
Suède	+4	+1,3	Australie	+8	+15,5
Total UE Hors Luxembourg)	-8	-2,4	Canada	-6	+13,4
			Etats Unis	-7	+10,3
			Islande	+10	nc
			Japon	-6	nc
			Liechtenstein	-8	nc
			Monaco	-8	+29,1
			Norvège	+1	+15,2
			Nouvelle Zélande	0	+2,7
			Suisse	-8	0

*Note : les émissions de 1998 correspondent aux CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O, exprimés en équivalent carbone.*

*Source : UNFCCC ; calculs DEEEE du MATE*

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Objectif de Kyoto (après répartition au sein de la bulle européenne).....	5
Tableau 2 : Marché de permis au sein de l'annexe B .....	7
Tableau 3 : Impact des propositions Pronk sur le marché de permis.....	9
Tableau 4 : Impact sur le prix du marché de permis .....	9
Tableau 5 : Impact sur les échanges .....	10
Tableau 6 : Emissions de CO <sub>2</sub> et paramètres des courbes de coût d'abattement, source MIT (EPPA)10	10
Tableau 7 : Emissions de CO <sub>2</sub> et paramètres des courbes de coût d'abattement, source IEPE (Poles)10	10
Tableau 8 : Projection de 2010 revue de +1 % pour toutes les régions.....	11
Tableau 9 : Projection de 2010 revue de +1 % uniquement pour USA.....	11
Tableau 10 : Projection de 2010 revue de +1 % uniquement pour UE.....	11
Tableau 11 : Emissions de CO <sub>2</sub> et paramètres des courbes de coût d'abattement, source IEPE (Poles)11	11
Tableau 12 : Marché de permis avec MDP, sans supplémentarité .....	13
Tableau 13 : Marché de permis avec MDP, plafond d'achat-vente à 5 %.....	14
Tableau 14 : Marché de permis avec MDP, réductions internes de 70 % minimum.....	14
Tableau 15 : Les principaux résultats pour trois valeurs de r .....	17
Tableau 16 : Réduction du marché .....	21
Tableau 17 : Résultats correspondant à deux niveaux de « share of proceeds » .....	24
Tableau 18 : Marché de permis.....	32
Tableau 19 : Emissions .....	35
Tableau 20 : Coûts d'abattement : $P=aQ^2+bQ$ .....	35
Tableau 21 : Estimation des moyennes annuelles des variations des stocks de carbone prises en considération pour les activités de BRD (boisement, reboisement, déboisement).....	46
Tableau 22 : Estimation des quantités de carbone correspondant à la proposition Pronk sur les puits51	51
Tableau 23 : Comparaison des émissions de 1998 avec l'objectif de Kyoto (après répartition au sein de la bulle européenne).....	52

## LISTE DES GRAPHIQUES

Figure 1 .....	21
Figure 2 : Prélèvement en volume (option2) : Montant total du <i>share of proceeds</i> en fonction du niveau de la taxe.....	25
Figure 3 : Nombre de permis supplémentaires en fonction de l'effort des USA et de l'Union Européenne. ....	27
Figure 4 : Recettes dues à une <i>safety valve</i> .....	28
Figure 5 : Courbes d'iso-niveau pour la facture européenne : arbitrage entre <i>safety valve</i> et <i>share of proceeds</i> (en volume).....	29