

# *Équité et efficacité pour la production décentralisée d'un bien collectif : l'enjeu de la non-séparabilité*

*Guy Meunier et Jean-Pierre Ponsard*

## **Introduction<sup>1</sup>**

Les enjeux d'équité jouent un rôle central dans le processus de négociation internationale de réduction des émissions de GES. Malgré un consensus sur la nécessité d'une action, deux types d'asymétries rendent difficile sa concrétisation : une asymétrie vis-à-vis des dommages, certains pays étant plus menacés que d'autres, et une asymétrie quant aux coûts de réduction des émissions. Ces asymétries renvoient à des questions d'équité et expliquent qu'un accord soit difficile à atteindre car certains bénéficient plus que d'autres de la réduction mondiale des émissions, et parce que certains devraient faire plus d'effort de réduction que d'autres. Comme les réductions d'émissions les moins coûteuses se situent dans les pays en développement, la minimisation des coûts de l'effort global requiert qu'une part importante des réductions soit effectuée dans ces pays. En l'absence de compensation de la part des pays industrialisés, principaux responsables des émissions passées, le coût perçu par ces pays est d'autant plus important que le pouvoir d'achat y est faible. La négociation sur les réductions d'émissions implique donc une négociation parallèle sur les transferts.

L'un des résultats centraux de la théorie économique dans une économie de marché sans effets externes porte sur la séparabilité des questions d'efficacité et d'équité. Des marchés concurrentiels et complets permettent d'assurer la première, la seconde pouvant être traitée grâce à des transferts forfaitaires. La conséquence de ces résultats est la préconisation de ne pas distordre les marchés pour des raisons d'équité mais de répondre à celles-ci par des transferts de richesses. En particulier, l'efficacité requiert l'unicité du prix d'un bien, unicité qui assure que les coûts marginaux des producteurs de ce bien soient égaux, sinon il est possible de produire autant avec moins de richesse en réallouant la production entre ces producteurs.

Appliqués au problème du changement climatique, ces résultats amènent à préconiser l'unicité du prix des émissions, que celle-ci soit imposée par une taxe uniforme ou assurée par un marché de permis d'émission, et la gestion parallèle des problèmes

---

1. Les auteurs remercient Olivier Godard, Jean-Pierre Hansen, Jean Philippe Nicolai et Philippe Quirion pour leurs commentaires sur une première version de ce chapitre.

d'équité par des transferts financiers forfaitaires. Ces résultats apportent un fondement théorique à la *comprehensive approach* telle que préconisée par Stewart et Wiener (1992). Aux climatologues la détermination du niveau global d'abattement, aux économistes la mise en place d'un mécanisme permettant de réaliser efficacement de manière décentralisée l'abattement correspondant pays par pays en fonction des coûts d'abattement respectifs (taxe carbone, marché de permis, normes techniques...), aux politiques la mise en place des transferts et des modalités pour les rendre socialement acceptables. Cette approche a largement inspirée l'EU-ETS et plus récemment la tentative avortée de taxe carbone en France. Elle a été récemment proposée par Tirole (2009) dans le cadre d'un rapport du Conseil d'Analyse Économique pour préparer le sommet de Copenhague.

Un petit nombre d'économistes a critiqué le fondement théorique de ce type d'approches en arguant du fait que dans le cas du changement climatique les questions d'efficacité et d'équité ne peuvent pas être isolées l'une de l'autre. Ces auteurs (voir par exemple les différentes contributions dans Chichilnisky et Heal, 2000) ont formulé deux résultats de non séparabilité. Premièrement, ils ont montré qu'en présence d'un bien public les questions d'équité et d'efficacité ne peuvent pas être traitées séparément (le premier article qui développe ce point remonte à Strotz, 1958). Cela signifie que le choix du plafond d'émissions doit être fait simultanément avec celui des transferts. L'unicité du prix du carbone, en elle-même, ne garantit pas l'efficacité. Deuxièmement, résultat plus classique, ils ont montré qu'en absence de transferts financiers un prix unique du carbone est sous-optimal, dans ce cas l'optimum correspond à des prix différenciés en fonction de la richesse des pays et de leur coût respectif d'abattement des émissions. Si les transferts sont impossibles alors l'efficacité productive (qui suppose un prix unique du carbone) peut être sacrifiée pour des raisons d'équité. Godard (2009) a fait une lecture critique du rapport Tirole (2009) dans ces mêmes termes.

Ces résultats de non-séparabilité sont relativement simples à formuler sur le plan technique, même s'il reste souvent incompris. Sheeran (2006) en fait une présentation forte éclairante. Nous complétons son approche en introduisant explicitement le choix du plafond d'émissions. Notre présentation s'inspire aussi des articles de Shiell (2003) et Sandmo (2007). La section 1 détaille les hypothèses du modèle retenu, les sections 2 et 3 mettent en évidence les résultats de non-séparabilité dans le cadre de ce modèle, d'abord de manière générale puis dans le cadre d'une illustration numérique. Pour bien préciser ces résultats nous contrastons l'optimum de premier rang avec un optimum de second rang dans lequel les transferts sont exclus.

Les approches des négociations internationales telles que les accords sectoriels ou plus généralement les NAMAs (Center for Clean Air Policy, 2010) partent d'un contexte international de politiques climatiques hétérogènes, par exemple un marché de permis dans les pays industriels et l'absence de politique dans les pays en développement, puis envisagent l'intérêt d'un accord sur un ou plusieurs secteurs (comme l'acier, le ciment... ou encore pour limiter la déforestation). Cet accord repose sur des transferts technologiques et financiers. Dans la section 4 nous montrons comment ce type d'accord peut s'interpréter comme un compromis entre les deux types d'optima identifiés dans la section 2, compromis destiné à arbitrer entre efficacité et équité.

Nous ne discutons pas des diverses conceptions et théories de la justice qui peuvent justifier tel ou tel compromis<sup>2</sup>. Nous considérons des accords Pareto optimaux sous diverses contraintes (plafond d'émissions, transferts). Pour chaque type de contraintes nous construisons la frontière de Pareto en maximisant une fonction de bien-être collective définie comme la somme pondérée des fonctions de bien-être des différents pays. Ces poids ont un rôle instrumental, ils permettent de décrire les optima de Pareto. Si les parties négocient de façon efficace ils devraient aboutir à un accord Pareto optimal. L'équité pourrait par exemple être définie par une négociation à la Nash qui maximiserait le produit des niveaux de bien-être, net des valeurs correspondantes au statuquo. Nous retiendrons une approche pragmatique de l'équité fondée sur un niveau acceptable de bien-être pour les pays en développement.

## Cadre d'analyse et notations

Considérons deux pays  $h$  et  $f$ , où  $h$  correspond au pays industrialisé et  $f$  au pays en développement. L'économie comporte un bien de production qui permet d'obtenir un bien de consommation. Le processus de production génère par ailleurs un « mal » public mondial sous la forme d'émissions de  $\text{CO}_2$ . La production de bien privé, et les émissions correspondantes, peuvent avoir lieu dans chaque pays, mais avec des caractéristiques différentes.

A chaque pays  $i = h, f$  on peut donc associer :

- un niveau de production noté  $y_i$  ;
- un niveau de consommation du bien privé noté  $c_i$  ;
- un niveau d'émissions noté  $e_i$  avec  $e_i = \phi_i(y_i)$ . Le coût marginal d'abattement correspond à la quantité de bien privé à sacrifier pour réaliser une baisse d'émissions, c'est-à-dire  $1/\phi'_i$  ; dans une production décentralisée efficace le prix du  $\text{CO}_2$  noté  $\sigma_i$  est égale au coût marginal d'abattement  $1/\phi'_i$ . Le pays  $h$  est supposé être plus efficace en termes d'émissions, sa production de bien étant moins consommatrice en énergie ( $\phi_h < \phi_f$  et  $\phi'_h < \phi'_f$ ).

On dénote  $u_i$  la fonction d'utilité du pays  $i$ . Cette utilité  $u_i$  dépend de la consommation  $c_i$  et des émissions mondiales  $e$  qui sont la somme des émissions nationales :  $e = e_h + e_f$ .

La fonction de bien-être mondiale sera supposée être de la forme suivante :

$$W = \lambda_h u_h(c_h, e) + \lambda_f u_f(c_f, e) \quad (1)$$

où  $\lambda_h, \lambda_f > 0$  et  $\lambda_h + \lambda_f = 1$ .

Les  $\lambda_i$ ,  $i = h, f$  sont les poids des pays dans la fonction de bien-être mondiale. Un optimum de Pareto correspond à une allocation, c'est-à-dire à une paire de consommation  $(c_h, c_f)$  et une paire d'émissions  $(e_h, e_f)$ , telle qu'il est impossible d'améliorer strictement l'utilité d'un pays sans diminuer celle de l'autre pays. Les fonctions  $W$  per-

2. Voir à ce sujet la section suivante du présent ouvrage.

mettent de décrire les optima de Pareto car une allocation est un optimum de Pareto si et seulement si il existe des poids  $\lambda_h, \lambda_f$  tels que cette allocation maximise la fonction  $W$  correspondante. Ainsi, en modifiant les poids il est possible de décrire l'ensemble des optima de Pareto.

Pour les illustrations il sera commode de disposer d'une spécification complète du modèle. On suppose alors que la fonction d'utilité de chaque pays est quadratique et séparable :

$$u_i(c_i, e) = (a_i - c_i/2) c_i - \gamma_i e$$

Ainsi dans ce cadre on a

$$\partial u_i / \partial e = -\gamma_i \text{ et } \partial u_i / \partial c_i = a_i - c_i$$

Le dommage marginal environnemental  $\gamma_i$  est constant, et l'utilité marginale retirée de la consommation du bien privé est linéaire décroissante en fonction de la quantité consommée.

Le paramètre  $a_i$  représente le niveau de satiété de consommation du bien privé. On suppose que  $a_h > a_f$  pour traduire le fait que le pays h est plus riche que le pays f. On normalise en posant  $a_h + a_f = 1$ .

Les émissions sont supposées quadratiques en fonction de la production et telles que :

$$e_h = y_h^2 / 2\omega_h \text{ et } e_f = y_f^2 / 2\omega_f$$

Les paramètres  $\omega_h$  et  $\omega_f$  déterminent les conditions d'émissions respectives dans les deux pays. On normalise en posant  $\omega_h + \omega_f = 1$ .

Avec nos hypothèses, il est facile de voir que la production mondiale maximale  $y(e)$  pour un plafond donné d'émissions  $e$  est :

$$y(e) = (2e)^{1/2}$$

Elle se répartit selon les pays en fonction de leurs efficacités respectives  $y_h = \omega_h y$  et  $y_f = \omega_f y$ . Les émissions mondiales se répartissent dans les mêmes proportions,  $e_h = \omega_h e$  et  $e_f = \omega_f e$ . Cette répartition est indépendante du niveau retenu pour le plafond  $e$ .

Partons des émissions correspondant aux niveaux de satiété dans les deux pays. Dire que le pays h est plus « propre » en termes d'émissions que le pays f revient à dire que la répartition efficace de la production donnerait une part plus importante au pays h qu'au pays f relativement aux niveaux de satiété. On traduit ce fait en posant  $\omega_h > a_h$  et  $\omega_f < a_f$ .

Notons pour finir qu'en absence de politique climatique (scénario souvent désigné sous le terme *Business as Usual* et noté BAU), chaque pays choisit son niveau de consommation de façon à maximiser son utilité sans prendre en compte l'effet sur les

émissions :  $c_h = y_h = a_h$  et  $c_f = y_f = a_f$ . Chaque pays produit ce qu'il consomme. Dans ce monde à un bien il n'y a pas de commerce international. La production mondiale est 1 et elle est répartie en fonction des paramètres  $a_h$  et  $a_f$  et non des efficacités techniques.

Dans les illustrations numériques nous prendrons les valeurs données au tableau 1.

**Tableau 1** : Choix des paramètres pour l'illustration numérique

Paramètres	Pays h	Pays f
a	0,75	0,25
$\omega$	0,85	0,15
$\gamma$	0,02	0,05

### Propriétés de non-séparabilité de l'optimum de premier rang

Supposons que des transferts soient possibles entre les deux pays. Dans notre modèle ces transferts prendront la forme d'une production dans un pays destinée à être consommée dans l'autre pays. La contrainte suivante devra être vérifiée :

$$c_h + c_f \leq y_h + y_f \quad (2)$$

Le programme économique correspondant à l'optimum de premier rang s'écrit

$$\text{Max } W = \lambda_h u_h(c_h, e) + \lambda_f u_f(c_f, e)$$

sous la contrainte

$$c_h + c_f \leq y_h + y_f$$

Notons  $\theta$  la variable duale associée à la contrainte. Le Lagrangien s'écrit :

$$[\lambda_h u_h(c_h, e) + \lambda_f u_f(c_f, e)] + \theta [y_h + y_f - c_h - c_f]$$

En dérivant le Lagrangien par rapport à  $y_i$  on obtient la condition suivante

$$[\sum_{j=h,f} \lambda_j \partial u_j / \partial e] \partial e / \partial y_i + \theta = 0$$

soit

$$1/\phi'_i = [- \sum \lambda_j \partial u_j / \partial e] / \theta \quad (3)$$

Comme le deuxième membre de cette équation est indépendant du pays  $i$ , les coûts marginaux d'abattement sont uniformes. Les prix du  $\text{CO}_2$  sont identiques et la production mondiale est maximale étant donné le plafond d'émissions mondial choisi.

sit. Les consommations de bien privé sont telles que (en dérivant le Lagrangien par rapport à  $c_i$ ,  $i = h, f$ ) :

$$\lambda_h \partial u_h / \partial c_h = \theta = \lambda_f \partial u_f / \partial c_f \quad (4)$$

Des transferts doivent être effectués de façon à égaliser les utilités marginales pondérées de la consommation du bien privé. Le pays  $h$  doit transférer  $y_h - c_h = c_f - y_f$  au pays  $f$ . La relation (4) illustre comment transferts et niveaux de consommation sont liés aux poids (à l'inverse, les poids implicites à une situation peuvent être déduits des niveaux de consommation de bien privé observés).

A partir de ces propriétés de l'optimum (maximisation de la production mondiale via un prix unique et transferts pour des raisons d'équité) il est tentant d'isoler les différents aspects du problème : choix d'un plafond d'émission, mise en place d'un marché de permis assurant l'efficacité et transferts pour des raisons d'équité. Ce qui correspond à la *comprehensive approach*. Cette lecture empirique du résultat théorique pêche sur deux points :

- le niveau global d'abattement dépend des poids retenus dans la fonction de bien-être mondial, c'est-à-dire des paramètres  $\lambda_i$ .
- des contraintes fortes pèsent souvent sur les possibilités de transfert entre pays.

Ces deux points sont de nature un peu différente mais aboutissent tout deux à remettre en question la séparabilité entre efficacité et équité dans les négociations climatiques. Le premier point signifie qu'en présence d'un bien public le choix du niveau de celui-ci relève de l'équité et pas seulement de l'efficacité. La formule (3) ne décrit pas seulement l'égalisation des coûts marginaux d'abattement elle décrit aussi le choix du plafond mondial d'émissions. Équité et efficacité ne sont pas séparables et doivent être pris en compte simultanément lors du choix du plafond et des transferts, les problèmes d'équité ne peuvent pas être circonscrits aux négociations sur les transferts.

Le second point porte sur le montant des transferts, et n'est pas directement lié à l'existence d'un bien public. Dans la réalité, des contraintes fortes pèsent sur les possibilités de transferts entre pays et ces contraintes peuvent empêcher la mise en place de l'optimum de premier rang. Dans ce cas, il est possible qu'à l'optimum de second rang certaines propriétés ne soient plus satisfaites. A titre d'illustration théorique il est facile de voir que si les transferts étaient totalement exclus, la contrainte (2) serait remplacée par la double contrainte

$$c_h \leq y_h \text{ et } c_f \leq y_f \quad (5)$$

Dans ce cas, pour maximiser  $W$  on peut directement dériver cette fonction par rapport à  $c_i$ . On obtient

$$\lambda_i \partial u_i / \partial c_i + [\sum \lambda_j \partial u_j / \partial e] \partial e / \partial c_i = 0.$$

Les formules (3) et (4) sont alors remplacées par

$$[\lambda_i \partial u_i / \partial c_i] / \phi'_i = - \sum \lambda_j \partial u_j / \partial e. \quad (6)$$

Comme il n'y a aucune raison pour que les utilités marginales pondérées de consommation du bien privé soient les mêmes (ce à quoi aboutissent les transferts dans l'optimum de premier rang selon (4) ), les coûts marginaux d'abattement  $1/\phi'_i$  sont différents entre les deux pays. Dans ce cas la production mondiale n'est pas maximale étant donné les émissions mondiales, l'efficacité productive est sacrifiée pour des raisons d'équité. En l'absence de transferts, des prix différenciés sont en général justifiés.

Pour mieux comprendre la portée de ces deux critiques nous allons mener à leur terme les calculs dans le cadre spécifié. Nous considérerons ensuite comment les accords sectoriels peuvent être représentés dans ce cadre et leurs performances en termes d'efficacité et d'équité.

### Illustration de la non-séparabilité

L'optimum de premier rang s'obtient en maximisant  $W$  donné par (1) sous la contrainte (2). Avec les spécifications, la condition (3) devient :

$$[\lambda_h \gamma_h + \lambda_f \gamma_f] y_h / \omega_h - \theta = 0 \quad (7)$$

$$[\lambda_h \gamma_h + \lambda_f \gamma_f] y_f / \omega_f - \theta = 0 \quad (7')$$

Et les niveaux de consommations sont tels que (4) est satisfaite soit :

$$\lambda_h (a_h - c_h) = \theta \quad (8)$$

$$\lambda_f (a_f - c_f) = \theta \quad (8')$$

Nous allons exprimer la solution en fonction du prix du carbone, noté  $\sigma$ , et ensuite préciser la valeur optimale de ce prix. La production mondiale est  $y = 1/\sigma$  (car  $\sigma = y'(e)$  et  $y' = 1/y$ ), elle se répartit en  $y_h = \omega_h/\sigma$  et  $y_f = \omega_f/\sigma$ . La condition (7) donne :

$$\lambda_h \gamma_h / \theta + \lambda_f \gamma_f / \theta = \sigma.$$

Puis, en injectant les relations (8) et (8') on obtient

$$\gamma_h / (a_h - c_h) + \gamma_f / (a_f - c_f) = \sigma \quad (9)$$

Le membre de gauche est la somme des taux marginaux de substitution qui représentent la valeur relative de l'abattement pour chaque pays. Cette somme dépend des niveaux de consommations des pays donc des transferts et des choix d'équité. Les consommations sont liées par les relations (8) et (8') :  $\lambda_h (a_h - c_h) = \lambda_f (a_f - c_f)$ , en ajoutant  $\lambda_f (a_h - c_h)$  de part et d'autre on a  $a_h - c_h = \lambda_f (1 - y)$  et de même  $a_f - c_f = \lambda_h (1 - y)$ . Ainsi, l'équation (9) se réécrit :

$$\gamma_h/\lambda_f + \gamma_f/\lambda_h = (1 - y) \sigma$$

En notant  $\Gamma = \gamma_h/\lambda_f + \gamma_f/\lambda_h$  et en utilisant la relation entre prix des émissions et production mondiale on trouve le prix :

$$\sigma = 1 + \Gamma$$

et les émissions mondiales :

$$e = /2 (1 + \Gamma)^{-2}.$$

Si les transferts ne sont pas possibles, il faut mettre en place une politique dite de second rang. Il faut maximiser  $W$  sous la double contrainte (3). Avec nos spécifications la relation (6) devient :

$$\lambda_i (a_i - c_i) \omega_i / c_i = \lambda_h \gamma_h + \lambda_f \gamma_f$$

Donc

$$\begin{aligned} c_h &= \omega_h a_h / (\omega_h + \lambda_f \Gamma), \\ c_f &= \omega_f a_f / (\omega_f + \lambda_h \Gamma). \end{aligned}$$

Les prix du carbone sont :

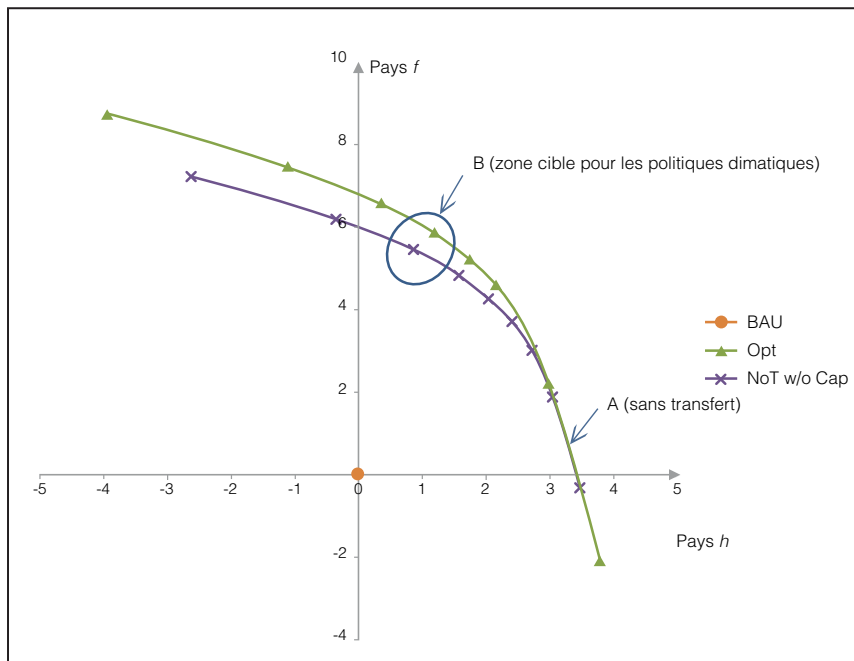
$$\begin{aligned} \sigma_b &= (\omega_b + \lambda_f \Gamma) / a_b, \\ \sigma_f &= (\omega_f + \lambda_b \Gamma) / a_f \end{aligned}$$

A chaque optimum de second rang correspond un couple d'émissions donc un plafond mondial. La différence entre les prix témoigne de l'inefficacité productive de l'allocation de ce plafond. La mise en place d'un marché de permis d'émission permettrait de corriger cette inefficacité et d'augmenter la consommation de bien privé de chaque pays. L'hypothèse d'absence de transfert implique qu'un tel marché ne pourrait fonctionner.

Le graphe 1 décrit l'ensemble des optima de Pareto selon l'hypothèse retenue. Dans ce graphique l'optimum de premier rang est noté « Opt » et l'optimum avec prix différenciés sans transfert et à niveau total d'émissions variable est noté « No T w/o Cap » (pour No Transfer without Cap). Chaque point d'une courbe représente un couple d'utilités (l'utilité du pays h en abscisse et celle du pays f en ordonnée) correspondant à un couple de poids. Sur une courbe, lorsque le poids  $\lambda_h$  augmente on se déplace vers le Sud Est (l'utilité du pays h augmente). Chaque courbe peut être lue comme donnant l'utilité maximale que peut atteindre le pays f étant donné l'utilité du pays h. Les niveaux d'utilités ont été recalibrés par rapport aux utilités des BAUs respectifs et multipliés par 1 000 pour mieux visualiser les résultats.



Graphe 1 : Opt versus No T w/o Cap

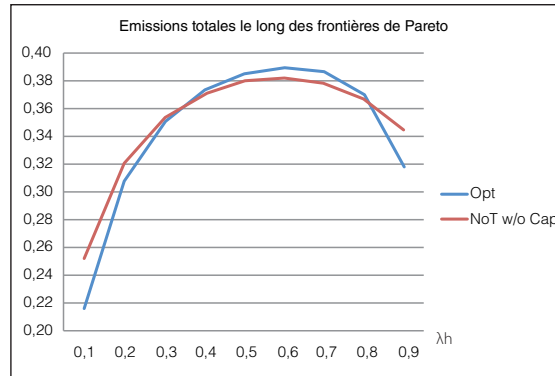


Dans ce graphique nous avons identifié le point de tangence entre les deux courbes. En ce point, noté A, les prix différenciés de No T w/o Cap sont en fait identiques au prix de Opt et il n'y a aucun transfert entre les deux pays. Avec notre illustration numérique, l'optimum de Pareto correspondant se situe dans une zone très favorable au pays h (les poids correspondants sont  $\lambda_h = 0.825$  et  $\lambda_f = 0.175$ ).

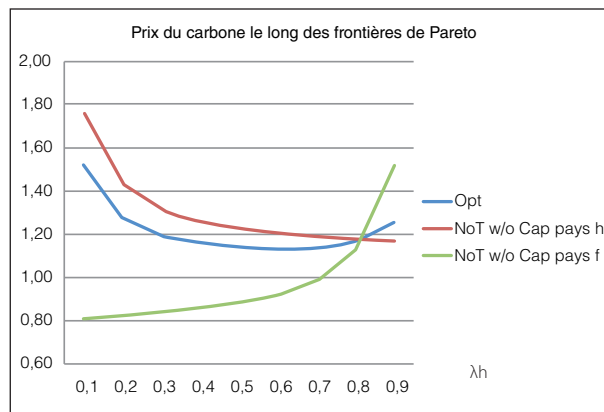
Si on cherche à atteindre des optima de Pareto plus favorables au pays f, en situant dans la zone cible notée B, il faut mettre en place des transferts importants, ou à défaut se situer sur la courbe No T w/o Cap. Dans ce dernier cas, l'absence de transferts génèrera une forte perte par rapport à Opt, l'écart entre les deux courbes va en effet en s'accroissant en s'éloignant du point A.

Le graphe 2 met bien en évidence la dépendance du plafond d'émissions et du choix d'équité à travers la pondération respective accordée à chaque pays, pour les deux scénarios Opt et No T w/o Cap. Le graphe 3 donne les prix du carbone correspondants. Il est intéressant de combiner la lecture des deux graphes en commençant par le graphe 3.

Graph 2 : dépendance entre le plafond d'émissions et le choix d'équité



Graph 3 : dépendance entre les prix du carbone et le choix d'équité



Plaçons-nous dans une situation dans laquelle le bien-être global accorde un poids très élevé au pays f, soit  $\lambda_h$  proche de zéro.

Considérons d'abord le scénario No T w/o Cap. Dans ces conditions, le pays h ne produit plus rien, il n'émet donc rien, le prix du CO<sub>2</sub>  $\sigma_h$  tend vers l'infini. Pour le pays f, tout se passe comme si ce pays était en autarcie, le prix du CO<sub>2</sub>  $\sigma_f$  tend vers le prix correspondant qui peut être calculé comme étant .8. Lorsque  $\lambda_b$  proche de 1, c'est l'inverse,  $\sigma_h$  tend vers la valeur optimale en autarcie pour le pays h soit 1.16 et  $\sigma_f$  tend vers l'infini. Il existe une valeur de  $\lambda_b$  pour laquelle  $\sigma_h = \sigma_f$  c'est le point A identifié sur le graphe 1. On notera que  $\sigma_h$  et  $\sigma_f$  sont des fonctions monotones de  $\lambda_h$ .

Considérons maintenant le scénario Opt, le prix unique du CO<sub>2</sub>  $\sigma$  se situe naturellement entre les deux prix différenciés. Noter que  $\sigma$  n'est pas une fonction monotone de  $\lambda_h$ . Ce résultat est relation avec le fait que les émissions totales avec Opt dépendent de  $\lambda_h$ .

Comme attendu, on note en effet l'influence des choix d'équité sur le plafond mondial, cette influence est contenue dans le paramètre  $\Gamma$ . Le paramètre  $\Gamma$  est décroissant puis croissant quand  $\sigma_h$  augmente de 0 à 1. Ainsi, pour des poids inégaux, c'est-à-dire  $\sigma_h$  proche de 0 ou de 1, le plafond mondial d'émission est faible, le prix du carbone est élevé, et pour des poids plus égaux le plafond mondial est plus important et le prix du carbone plus faible. A chaque couple de poids correspond un plafond mondial et un transfert de bien privé.

Comme cela a été noté dans la section 2, il n'est donc pas possible de séparer choix du plafond et transferts.

Noter pour conclure que le plafond d'émissions est lui aussi variable pour le scénario No T w/o Cap, ce plafond étant tantôt plus élevé tantôt plus faible que celui correspondant à Opt.

### Principe d'un accord sectoriel et arbitrage entre efficacité et équité

Le terme accord *sectoriel* regroupe une grande variété de propositions émanant le plus souvent de milieux professionnels. Dans cette section nous souhaitons simplement montrer comment ce type d'accord permet d'arbitrer entre efficacité et équité. Plus précisément nous proposons de formaliser un accord sectoriel comme un scénario de prix différenciés dans lequel (i) on raisonne conformément à la comprehensive approach, c'est-à-dire en séparant le choix du plafond d'émissions du choix d'équité, (ii) on relâche en partie la contrainte d'absence de transferts financiers.

Le premier point implique que l'efficacité doit être mesurée par rapport non pas au scénario Opt mais par rapport à un scénario à prix uniforme dans lequel le plafond d'émissions est contraint a priori (le cap) et indépendant des transferts. Dénotons Global Cap un tel scénario. Il correspond à la démarche du tableau 2.

Tableau 2 : Global Cap

Etape 1	Etape 2	Etape 3	Résultat
Choix d'une contrainte climatique globale	Mise en place d'un marché de permis avec un prix du carbone mondial	Choix d'équité sous la forme d'allocations initiales aux Etats	Productions Emissions Consommations Transferts
$e^*$	$\sigma$		$y_h, e_h, c_h, T_{hf}$

Le scénario basé sur des accords sectoriels partira d'une première étape dans laquelle on fait un choix simultané du plafond mondial d'émissions et de sa répartition entre les pays. Dans une deuxième étape on suppose que ces contraintes d'émissions s'appliquent de manière séparée dans chaque pays, il n'y a pas de transferts. Dans le

cadre de notre modèle, choisir  $e_f^*$  est équivalent à choisir le niveau de consommation dans le pays f soit  $c_f^*$ . Notons No T w Cap un tel scénario. No T w Cap est à No T w/o Cap ce qu'est Global Cap à Opt.

Dans une troisième étape, nous relâchons la contrainte d'absence de transferts. Le pays f réduit ses émissions en échange d'une augmentation des émissions dans le pays h; le pays f reçoit en compensation une part de l'augmentation de la production dans le pays h. Ce type d'accord est mutuellement avantageux tant que les prix explicites ou implicites du carbone restent différents entre les deux pays.

Le scénario qui inclut la possibilité d'un transfert correspond à notre formalisation d'un accord sectoriel. Il est dénoté Sect App pour *sectoral approach*. Il correspond à la démarche détaillée dans le tableau 3.

**Tableau 3** : Accord sectoriel – les étapes 1 et 2 correspondent à No T w Cap

Etape 1	Etape 2	Etape 3	Résultat
Choix d'une contrainte climatique globale et répartition de cette contrainte par pays	Fonctionnement de marchés de permis sans échange entre ces marchés	Mise en place d'accords sectoriels permettant des transferts limités	Productions Emissions Consommations Transferts
$e^* = e_h^* + e_f^*$ $c_f^*$	$\sigma_h, \sigma_f$	$T_{hf}$	$y_h, e_h, c_h, T_{hf}$

Pour faciliter la comparaison entre les deux scénarios supposons que les choix du niveau de plafond soient les mêmes dans les deux cas (la valeur numérique retenue pour les illustrations est  $e^* = 0.385$  ce qui correspond à choisir des pondérations à peu près égales entre les deux pays, cf. graphe 2)<sup>3</sup>.

Nous précisons notre objectif d'équité en précisant la répartition du plafond entre les deux pays soit  $e_h^*$  et  $e_f^*$  et donc le niveau de consommation dans le pays f soit  $c_f^*$ , niveau cible pour la suite (pour l'illustration numérique nous prendrons  $c_f^* = 0.197$ ). On peut donc caractériser les politiques Global Cap et NT w Cap qui correspondraient à  $e = e^*$  et  $c_f = c_f^*$ .

Nous allons montrer comment on peut « Pareto améliorer » la politique NT w Cap en respectant les contraintes  $e = e^*$  et  $c_f = c_f^*$ . Le mécanisme proposé s'inspire des principes sous jacents aux accords sectoriels dans lesquels les deux pays s'échangent partiellement des droits d'émissions, soit directement soit sous forme de subventions.

3. Dans la réalité on peut penser que le plafond d'une politique sectorielle sera plus élevé car résultant de la somme des engagements des différents pays. Raisonner à plafond commun permet de mieux comprendre les éventuelles pertes d'efficacité d'une approche par rapport à une autre.

Notons  $e_h^*$  et  $e_f^*$  les émissions respectives de chaque pays dans la politique NT w Cap. La production du pays f correspond à sa consommation  $c_f^*$ . Les prix du carbone sont respectivement  $\sigma_h^*$  et  $\sigma_f^*$ . Si le pays h contribue par un transfert technique à réaliser un abattement d'émissions  $x$  dans le pays f, il peut augmenter ses propres émissions de  $x$ . Les émissions de chaque pays deviennent  $e_h^* + x$  et  $e_f^* - x$ . Tout se passe comme si le prix du carbone diminuait dans le pays h et augmentait dans le pays f. Pour que l'opération soit neutre pour le pays f le pays h doit transférer une part de l'accroissement de sa production dans le pays f. La production dans le pays f devient :

$$y_f = [2\omega_f (e_f^* - x)]^{1/2}$$

Le transfert qui permet de préserver le niveau de consommation du pays f s'écrit :

$$T_{hf}(x) = c_f^* - y_f = c_f^* - [2\omega_f (e_f^* - x)]^{1/2}$$

La consommation du pays h est alors égale à la production  $y_h$  correspondant au nouveau niveau d'émissions  $e_h^* + x$  moins le transfert  $T_{hf}(x)$ .

La politique Sect App correspondante est identifiée sur le graphique 4. Lorsque le transfert augmente, l'utilité du pays f est maintenue constante, le gain d'efficacité productive global permet au pays h d'augmenter sa consommation donc son utilité. Le montant de transfert optimal permet au pays de maximiser sa consommation, l'abattement correspondant satisfait :

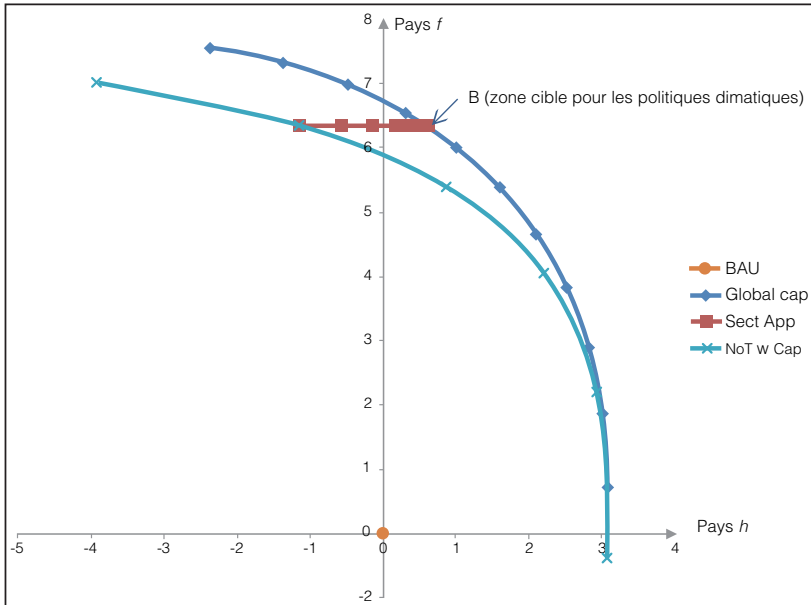
$$\text{Max } [y_h - T_{hf}(x)]$$

sous la contrainte

$$e_h \leq e_h^* + x$$

Ce montant égalise les coûts marginaux d'abattement. Ainsi, le pays h va financer des réductions d'émissions dans le pays f jusqu'à ce que la production mondiale soit maximale. A ce point la politique Sect App rejoint donc la politique Global Cap.

**Graphe 4 :** Sect App versus Global Cap et No T w Cap en fonction du transfert envisagé



Cette situation idéale, dans laquelle l'approche sectorielle proposée permet de rejoindre la politique Global Cap, n'est réalisable qu'à condition que les transferts correspondant soient possibles. Si les transferts sont limités la situation sera intermédiaire, l'utilité du pays h sera supérieure à son utilité initiale mais pas maximale<sup>4</sup>.

Le tableau 4 détaille le cheminement :

- Si on veut réduire les émissions du niveau BAU  $e = 1$  à  $e^* = 0.385$ , soit une réduction très substantielle, la politique Global Cap se traduit par un effort massif de réduction des émissions dans le pays f (72% comparé aux 44% d'une approche en autarcie). Le prix mondial du carbone s'établit à  $\sigma_h^* = \sigma_f^* = 1.14$ . Ce niveau de prix détermine les productions efficaces dans chaque pays,  $y_h = 0.746$  et  $y_f = 0.132$ . On voit que le pays f va fortement réduire sa production, qui est la plus polluante. La production du pays h est par contre peu affectée. Pour que le niveau de consommation du pays f soit égal à  $c_f^* = 0.197$ , notre cible en termes d'équité, il convient de mettre en place un transfert  $T_{hf} = 0.066$  (l'ampleur de ce transfert peut s'apprécier en termes de transferts d'allocations initiales du pays h vers le pays f soit  $T_{hf}^* / 2\sigma_h^* e_h^*$  ou encore numériquement à peu près 9%).
- Si on considère ce niveau de transfert comme excessif, on peut partir de la politique NT w Cap qui permet d'obtenir  $e^* = 0.385$  et  $c_f^* = 0.197$  sans transfert. Le

4. Nous pouvons bien sûr envisager des scénarios d'accords sectoriels dans lesquels les gains sont partagés entre les deux pays. Sur le graphe 4 on a fait figurer le point correspondant à un compromis à la Nash, dans lequel l'équité correspondrait à maximiser le produit des bien-être des deux pays, bien-être net des valeurs du statuquo.

pays h supporte alors une part très significative de la réduction des émissions (par rapport aux 4.5% d'une approche unilatérale), sa production chute de  $y_h = 0.750$  à  $y_h = 0.658$ . En l'absence de transfert l'utilité du pays h diminue par rapport au niveau du BAU, elle est égale à  $-1.137$ . Cette politique s'appuie sur des prix du carbone différenciés tels que  $\sigma_h = 1.292$  et  $\sigma_f = 0.760$ . L'existence de prix différenciés met en évidence l'inefficacité de cette politique vis-à-vis des efforts de réduction des émissions.

- La politique Sec App basée sur le transfert  $T_{hf} = 0.04$  permet d'améliorer la situation du pays h sans détériorer celle du pays f (avec un transfert maintenant d'environ 5%). Les prix du carbone se rééquilibrent partiellement  $\sigma_h = 1.186$  et  $\sigma_f = 0.952$ . L'utilité du pays h passe de  $-1.137$  à  $0.395$ .

Tableau 4 : comparaison des différentes politiques climatiques stylisées

Politique	BAU		Global cap		No T w cap		Sect App	
	h	f	h	f	h	f	h	f
prix du carbone			1,140	1,140	1,292	0,760	1,186	0,952
émissions totales	1,000	1,000	0,385	0,385	0,385	0,385	0,385	0,385
émissions	0,331	0,208	0,327	0,058	0,255	0,130	0,302	0,083
% de baisse/BAU			1%	72%	23%	38%	9%	60%
production	0,750	0,250	0,746	0,132	0,658	0,197	0,717	0,157
transfert			-0,066	0,066			-0,040	0,040
consommation	0,750	0,250	0,680	0,197	0,658	0,197	0,677	0,197
% de baisse/BAU			9%	21%	12%	21%	10%	21%
unité	-	-	0,619	6,345	-1,137	6,345	0,395	6,345

## Conclusion

En guise de conclusion, revenons de manière synthétique sur les résultats du modèle et analysons ces résultats en termes généraux d'équité. Le tableau 5 présente une politique Opt qui Pareto domine la politique Global Cap. Cette politique correspond à un choix de pondération  $\lambda_h = 0.445$  et  $\lambda_f = 0.555$ . Ces pondérations n'ont pas de sens particulier en termes d'équité, mais seulement une valeur instrumentale pour déterminer l'optimum de Pareto retenu.

Le graphe 4 montre alors que la politique proposée est plus favorable au pays f que le compromis « équitable » à la Nash. Notre démarche constitue une illustration sur le papier qui permet de relativiser une approche pragmatique de l'équité fondée sur un seuil minimal de bien-être dans les pays en développement par rapport à des principes généraux utiles au débat (niveau de PIB par habitant à un certain horizon par exemple) mais sur lesquelles il serait très difficile de s'entendre a priori.

Tableau 5 : Une politique Opt qui Pareto domine les politiques climatiques stylisées

Politique	Opt	
	<i>b</i>	<i>f</i>
pay		
prix du carbone	1,148	1,148
émissions totales	0,379	0,379
émissions	0,322	0,057
% de baisse/BAU	3%	73%
production	0,740	0,131
transfert	-0,062	0,062
consommation	0,678	0,192
% de baisse/BAU	10%	23%
unité	0,630	6,351

Si on avait effectivement été capable de poser le problème en partant directement d'une notion fondamentale de l'équité, par exemple un arbitrage entre principes fondamentaux et réalisme politique<sup>5</sup> se traduisant « opérationnellement » par les niveaux de pondérations  $\lambda_b = 0.445$  et  $\lambda_f = 0.555$  alors, la véritable politique optimale serait une politique Opt qui remettrait en cause la séparabilité du choix du niveau mondial d'émissions telle qu'elle est effectuée dans l'approche sectorielle Sect App. Cette politique arbitrerait pour un niveau légèrement plus faible d'émissions mondiales et un niveau légèrement plus faible de consommation dans le pays f. Le transfert diminuerait légèrement par rapport à celui de Global Cap. Et chaque pays, industriel ou en développement, y gagnerait en niveau d'utilité. *It's a long way to the optimum...*

## Références bibliographiques

- (The) Center for Clean Air Policy (2010), *Global Sectoral Study: Final Report*, May.
- G. Chichilnisky, G. Heal, (ed.) (2000), *Environmental Markets. Equity and Efficiency*, New York, Columbia University Press.
- O. Godard, (2009), *Quelle architecture internationale pour la politique climatique ? 1. Les fausses évidences du rapport Tirole*, Ecole Polytechnique, octobre.
- G. Meunier, J.P. Ponssard, (2010), *A sectoral approach balancing global efficiency and equity*, Ecole Polytechnique, April.
- A. Sandmo, (2007), "Global Public Economics: Public Goods and Externalities", *Economie publique/Public economics*, (18-19), p. 3-21.

5. On peut par exemple introduire des poids différents dans une négociation à la Nash pour traduire le rapport de force entre les agents.



- K. A. Sheeran, (2006), "Who should abate carbon emissions? A note", *Environmental and Resource Economics*, 35 (2), p. 89-98.
- R. B. Stewart, J.B. Wiener, (1992), The Comprehensive Approach to Global Climate Policy: Issues of Design and Practicality, *Arizona Journal of International and Comparative Law*, 9 (1), p. 83-114.
- L. Shiell, (2003), "Equity and efficiency in international markets for pollution permits", *Journal of Environmental Economics and Management*, 46, 38-51.
- R. H. Strotz, (1958 ), Two Propositions Related to Public Goods. *The Review of Economics and Statistics*, 40 (4), p. 329-331.
- J. Tirole, (2009), *Politique climatique, une nouvelle architecture internationale. Rapport au CAE*. Paris, Documentation française, octobre.