



*Institut d'Economie et
de Politique de l'Energie*



CEPII

**CENTRE
D'ÉTUDES PROSPECTIVES
ET D'INFORMATIONS
INTERNATIONALES**



C.I.R.E.D.

**CENTRE
INTERNATIONAL
DE RECHERCHE
SUR L'ENVIRONNEMENT
ET LE DÉVELOPPEMENT**

Programme GICC –

Projet ARES

**Analyse des stratégies de Réduction des
Emissions de gaz à effet de Serre**

**Rapport de Synthèse
Juillet 2002**

A. INTRODUCTION : OBJECTIFS INITIAUX ET DEROULEMENT DU PROJET

La conduite de la négociation internationale sur les politiques climatiques doit pouvoir s'appuyer sur des évaluations ex ante des coûts des programmes de réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre. C'est ce qui a motivé, au plan international et en France, le développement de plusieurs types d'outils au cours des dernières années pour l'analyse des coûts d'abattement : modèles énergétiques (NEMS, MARKAL, PRIMES, POLES ...) ou modèles d'équilibre général (SGM, EPPA, GEM-E3, IMACLIM ...). La co-existence de ces deux types de modèles rend la discussion parfois difficile en ce qu'ils fournissent deux types d'information différentes pas toujours correctement coordonnées : coûts de réduction sectoriels (dans le secteur énergétique principalement), qui ont une forte composante de substitution technologique, et effets en retour sur l'ensemble de l'économie, compte-tenu des politiques mises en œuvre et en particulier des instruments d'incitation retenus (taxes, permis d'émission, normes).

La recherche se proposait de fournir un ensemble d'évaluations cohérentes des *coûts bruts* sectoriels et des *coûts nets* macroéconomiques de divers objectifs d'abattement des émissions pour différentes régions du monde. Son originalité réside dans un effort méthodologique pour assurer la cohérence interne d'une utilisation combinée du modèle énergétique international POLES de l'IEPE et du modèle d'équilibre général calculable IMACLIM du CIRED, ces deux modèles étant calés sur les scénarios macro-économiques internationaux spécialement développés pour ce projet par le CEPII. La contribution de l'IPTS a en outre permis d'accélérer les travaux pour la désagrégation complète du modèle POLES au niveau des quinze pays de l'Union Européenne.

Le projet ARES a donc été articulé autour de trois grandes activités, menées à la fois en parallèle et séquentiellement :

- élaboration par le CEPII d'un scénario de croissance économique mondiale, détaillé par région et à l'horizon 2030,
- développement par l'IEPE d'un scénario d'allocation des droits d'émission à horizon 2030, par freinage progressif de la croissance des émissions dans les pays en développement – *Soft Landing* – évaluation de ce scénario à partir du modèle POLES, en comparant les résultats avec des schémas alternatifs décrits dans la littérature ou proposés à la négociation (*Contraction & Convergence, Global Compromise*) ;
- extension et développement par le CIRED du modèle IMACLIM à 14 zones, élaboration des interfaces avec POLES puis étude des effets d'équilibre général des différents scénarios d'attribution étudiés par l'IEPE.

Cette recherche a permis des évaluations complètes et cohérentes des coûts marginaux et des coûts totaux de réduction, ainsi que des taux d'effort par région, en supposant dans un premier temps que ces objectifs étaient atteints sur la base de seuls efforts domestiques. Puis elle a permis d'évaluer l'impact des mécanismes de flexibilité susceptibles d'être mis en place à l'échelle internationale pour des objectifs de réduction à horizon 2010 et 2030. Enfin, elle a analysé les impacts macro-économiques des différents modes d'utilisation des instruments économiques mobilisés et surtout de diverses modalités de rétrocession vers les acteurs privés des quotas d'émissions détenus par les Etats (allocation gratuite ou mise aux enchères). Elle a donc permis, d'une part des progrès en termes de méthodologie de l'utilisation combinée des modèles et d'autre part la production de conclusions substantielles

quant aux impacts relatifs des schémas d'attribution internationale des droits d'émission, sous différentes modalités de mise en œuvre, au plan international et national.

MOTS-CLÉS :

changement climatique, évaluation économique, modèle, énergie, économie mondiale, coûts de réduction, écotaxe, permis d'émission négociable, double dividende.

ARTICULATION AVEC DES PROGRAMMES NATIONAUX OU EUROPÉENS :

Les modèles POLES et IMACLIM sont déjà utilisés conjointement dans le cadre du GDR Oïkia.

Le modèle POLES a été développé dans le cadre du Quatrième Programme Cadre de Recherche de la DG XII de la Commission Européenne ; des projets communs IEPE-IPTS ont conduit à de nouveaux développements dans le Cinquième Programme Cadre et à des utilisations par la DG Recherche, la DG Environnement et la DG Transports-Energie.

Le modèle IMACLIM a également été utilisé par la DG Recherche de la Commission Européenne, une coopération est actuellement en cours pour l'utilisation des acquis méthodologiques d'IMACLIM dans le cadre de l'élaboration des scénarios macro-économique du modèle IMAGE d'évaluation intégrée du changement climatique (RIVM-Utrecht).

Les scénarios macro-économiques internationaux ont été développés par le CEPII en étroite articulation avec le projet de modélisation économique internationale entrepris conjointement par le CEPII et le CEPREMAP avec le modèle MARMOTTE.

B. RÉSUMÉ

EQUIPES PARTICIPANTES

COORDINATEUR : 1/ **Patrick Criqui,**
Odile Blanchard, Alban Kitous
Institut d'Économie et de Politique de l'énergie
IEPE - UPR 19 du CNRS
Dir. : Dominique FINON
BP 47 - 38040 - Grenoble CEDEX 09
tel. 04 76 51 42 40
fax. 04 76 51 45 27
[http ://www.upmf-grenoble.fr/iepe](http://www.upmf-grenoble.fr/iepe)

PARTENAIRES : 2/ **Jean-Charles Hourcade, Frédéric Gherzi**
Centre International de Recherche sur l'Environnement et
le Développement CIRED-CNRS
Dir. : Jean-Charles HOURCADE
45 bis Av. de la Belle Gabrielle
94376 - Nogent sur Marne
tel. 01 43 94 73 73
fax. 01 43 94 73 70
[http ://www.centre-cired.fr/](http://www.centre-cired.fr/)

3/ **Nina Kousnetzoff, Julien Genet et Stephan Fahr**
Centre d'Études Prospectives et d'Informations
Internationales - CEPPI/CIREM
Dir. : Jean Claude BERTHELEMY
9 rue Georges Pitard
75 740 Paris CEDEX 15
tel. 01 53 68 55 00
fax. 01 53 68 55 01
[http ://www.cepii.fr/](http://www.cepii.fr/)

4/ **Antonio Soria, Peter Russ**
Institute for Prospective Technological Studies - IPTS
(Centre Commun de Recherche des Communautés Européennes,
sous-contractant de l'IEPE)
World Trade Center - Isla de la Cartuja
E - 41092 Séville
tel. 34 95 448 82 94
fax. 34 95 448 82 35

Le projet ARES bien qu'ayant une visée essentiellement méthodologique, c'est à dire assurer la cohérence entre un modèle de croissance à long terme, un modèle énergétique et un modèle d'équilibre général, a aussi permis une analyse économique complète du coût de différents scénarios d'attribution des droits d'émission à 2030 et de différentes modalités de gestion de ces 'contraintes carbone'. A partir de la projection économique de référence, trois scénarios furent testés :

- un schéma « *Soft Landing* » qui allie stabilisation des émissions globales à l'horizon 2030, poursuite de la diminution des émissions des pays de l'Annexe B du protocole de Kyoto dans un système de type « Kyoto étendu », comportant une certaine dose de droits hérités (grandfathering), et freinage progressif de la croissance des émissions dans les pays en développement,
- une règle *Contraction et Convergence*, de distribution de droits d'émission « par tête » convergents sur le long terme, ceci au nom de l'équité,
- un schéma médian dit *Global Compromise* qui combine dans des proportions reflétant la structure des préférences au plan mondial, droits égaux et droits « hérités ».

Les résultats les plus significatifs pour les politiques économiques viennent de l'étude des écarts entre les prix du carbone et le surcroît de dépenses (taux d'effort) dans le secteur énergétique tels qu'ils dérivent d'une analyse en d'équilibre partiel (POLES) et d'une analyse des effets d'équilibre général (IMACLIM).

Un scénario de croissance économique mondiale par région à l'horizon 2030

La construction de scénarios de croissance mondiale à long terme a été remise en cause par le démenti subi par les prévisions effectuées dans les années 1960 et 1970 qui envisageaient un rattrapage des niveaux de vie des pays industrialisés par les pays en développement en quelques décennies. Cependant, la construction de scénarios de croissance cohérents à horizon de plusieurs décennies reste indispensable pour l'étude des politiques climatiques, ne serait-ce qu'en raison de l'inertie du capital dans le secteur de l'énergie. Les modèles d'équilibre général calculables ou les modèles à anticipations rationnelles, se calent de facto sur des scénarios de long terme qu'il est préférable d'explicitier et de fonder sur une base plus maîtrisée.

Nous avons donc construit des scénarios régionaux avec un modèle de croissance exogène prenant en compte les différences de capital humain, ce qui permet d'expliquer les différences de croissance pendant la période de transition vers l'équilibre de long terme. Ce modèle, tiré de Mankiw, Romer et Weil (1992) est suffisamment simple pour contrôler les résultats de la projection de référence et de ses variantes. La prévision est effectuée suivant l'approche de Germain et Guichard (1998) qui suppose un pays de référence, ayant déjà atteint un équilibre de long terme à l'année de base. Nous avons fait une exception pour les pays pétroliers dont la croissance est déterminée par le prix réel du pétrole et la croissance du reste du monde.

Le scénario de référence retient les hypothèses 'moyennes' d'évolution des populations et de taux d'investissement en capital physique et humain de tous les pays, corrigées dans quelques cas particuliers, pour tenir compte des performances passées des pays – exceptionnelles ou médiocres – et du jugement qui peut être porté sur leur dynamisme futur. Il peut bien sûr être aisément modifié en fonction de conjectures différentes.

L'« image du monde » qui en résulte est celle d'une croissance du PIB mondial de 3 % sur la période 2000-2030, d'un déclin marqué de la croissance démographique et d'un progrès

technique global qui prolonge les tendances des 30 dernières années. La diminution du poids des régions anciennement industrialisées dans le PIB mondial s'accélère et, comme au cours des trente années passées, ce recul s'effectue principalement au bénéfice des régions d'Asie.

Scénarios de contrainte d'émission à 2030 et évaluation à partir d'un modèle énergétique sectoriel

La première étape fut la production à partir du modèle POLES, d'un scénario énergétique de référence calé sur le scénario de croissance macroéconomique, puis la seconde celle de l'évaluation des coûts pour le secteur énergétique de trois schémas d'attribution des droits d'émission considérés.

Un des résultats clefs est que, dans tous les scénarios, les coûts marginaux des contraintes carbone et les taux d'efforts impliqués dans le secteur de l'énergie sont très différenciés, et très élevés pour les pays industrialisés lorsqu'aucun dispositif de flexibilité n'est mis en place ; de 450 à 1100\$/tC dans le scénario *Contraction et Convergence*, de 250 à 800\$/tC pour *Compromis Global* et de 105\$/t à 365\$/t pour le scénario *Soft Landing*. Ceci confirme l'intérêt de la mise en place de marchés de droit d'émission, qui conduit alors à l'égalisation des coûts marginaux à 106 \$/tC. Le prix du carbone est alors identique pour tous les scénarios, et son plus faible niveau traduit un programme de réduction économiquement beaucoup plus efficace que dans l'hypothèse sans marché. Les attributions initiales impliquent cependant des transferts de droits d'émission des pays peu contraints vers les pays fortement contraints, ce qui correspond évidemment à un transfert de richesse : on doit noter que *Contraction et Convergence* et *Compromis Global* représentent des transferts beaucoup plus massifs que le cas *Soft Landing* (1650 MtC et 1350 MtC contre 750 MtC).

Certes, on confirme que *Contraction et Convergence* est plus favorable aux pays en voie de développement alors que *Soft Landing* est plus avantageux pour les pays de l'Annexe B ; mais on note un certain nombre d'exceptions, notamment pour les pays de la CEI qui sont contraints dès aujourd'hui par la règle de convergence et pour la Chine, que cette règle touche en la forçant à infléchir assez vite ses taux de croissance actuel des émissions.

Ces résultats font apparaître les difficultés qui pourraient surgir dans la mise en œuvre de modes d'attribution de type *Contraction et Convergence* : ce principe est apparemment intéressant en termes d'équité internationale, mais les coûts qu'il imposerait à certains des acteurs-clé des négociations à venir – Etats-Unis, Russie, Chine – apparaissent très élevés et l'on peut douter alors que, dans la négociation, ce type de solution leur paraisse acceptable.

Évaluation des scénarios de droits d'émission dans une perspective d'équilibre général : utilisation du modèle IMACLIM

L'analyse de l'impact des effets d'équilibre général sur les scénarios économiques et énergétiques développés respectivement par le CEPII et l'IEPE s'est concentrée sur l'hypothèse d'introduction graduelle d'un signal-prix, jugée plus réaliste que celle de l'instauration immédiate de niveaux de taxe élevés. Trois types de simulations ont été menées : permis gratuits sans marché mondial de droits d'émission, permis aux enchères sans marché et permis gratuits avec marché.

Celles-ci ont confirmé la sensibilité des effets d'équilibre général aux hypothèses effectuées concernant les modalités d'attribution des permis. Dans l'ensemble en effet, les distributions gratuites conduisent à des hausses de prix de l'énergie supérieures à ceux de POLES en raison

des mécanismes de propagation au sein de la matrice inter-industrielle, et à des pertes de PIB sensibles. On notera ici que, sauf exception, l'analyse en équilibre général conduit aux mêmes conclusions que l'analyse sectorielle concernant la hiérarchie des scénarios, et celle des pays les plus affectés par les contraintes carbone.

En revanche, la prise en compte des opportunités fournies par le réaménagement des fiscalités pré-existantes change fortement le bilan économique net des scénarios via une baisse de ces fiscalités par l'utilisation du produit des enchères. Mais il importe de noter que, si ces marges de manœuvre permettent de réduire les pertes de PIB à moins de 1% à 2030 pour toutes les régions dans le scénario Global Compromise, à moins de 0,5% pour Soft Landing (avec même une croissance du PIB pour certaines), le scénario Contraction et Convergence conduit toujours à des pertes de richesse significatives pour les USA, le Japon, la CEI et la Chine, ce qui confirme la difficulté de son adoption.

Pour conclure sur une note plus méthodologique, nous noterons que l'interfaçage entre le modèle sectoriel-énergie POLES et le modèle IMACLIM apparaît particulièrement riche en enseignements et fertile en développements futurs. Les conditions d'un dialogue rigoureux entre modèle sectoriel, modèle de croissance et modèle d'équilibre général semblent désormais établies. Bien évidemment ce premier pas doit être complété, en particulier par la construction, sur les mêmes bases théoriques, d'un tableau entrées-sorties multi-sectoriel en amont de POLES et cohérent avec les scénarios à long terme du CEPII.

C. MÉTHODOLOGIES

Modèle de croissance et construction d'une projection économique à 2030

La prévision de croissance mondiale a été menée avec un modèle de croissance exogène prenant en compte les différences de capital humain entre les pays—modèle qui explique mieux les différences de croissance pendant la période de transition vers l'équilibre de long terme que le modèle originel de Solow, et qui est applicable en prévision. De plus, nous avons choisi un modèle suffisamment simple pour pouvoir comprendre et contrôler les résultats de la projection de référence et des variantes éventuelles.

Le modèle utilisé est celui de Mankiw, Romer et Weil (1992). La prévision est effectuée en supposant qu'un pays – les États-Unis – a déjà atteint un équilibre de long terme à l'année de base, selon la méthode développée par Germain et Guichard (1998). Le modèle de croissance exogène est appliqué à tous les pays pour lesquels on dispose de données, sauf aux pays pétroliers : pour ces derniers, la croissance est déterminée par le prix réel du pétrole et la croissance du reste du monde.

Nous avons défini un scénario de référence de la façon suivante. D'une part, nous avons adopté les hypothèses les plus probables d'évolution des populations et des taux d'investissement en capital physique et humain de tous les pays. D'autre part, dans quelques cas particuliers, les paramètres du modèle général ont été modifiés pour tenir compte des performances passées des pays – qu'elles soient exceptionnelles ou médiocres – et de l'opinion qui prévaut sur leur dynamisme futur.

L'hypothèse principale du modèle de Solow avec capital humain est la convergence des productivités des pays, *conditionnée* par les taux d'investissement en capital physique et humain ainsi que par le taux de croissance de la population active. Ce résultat se retrouve bien dans notre prévision selon le scénario de référence à l'horizon 2030 : les taux de croissance des productivités des pays se rapprochent, mais il n'y a pas pour autant de convergence absolue des niveaux de productivité.

Mais la prévision donne un autre résultat, celui-là inattendu : un rapprochement des revenus par tête des pays, qui entraîne une réduction de l'inégalité entre les nations à l'horizon 2030. Ce résultat ne provient pas du modèle, mais des projections démographiques utilisées comme variables exogènes dans le scénario de référence : pour les trente prochaines années, ces projections tablent en effet sur l'accélération de la transition démographique, ce qui a pour conséquence un décalage dans le temps du « vieillissement » des pays, propice à un rattrapage des pays plus pauvres, qui sont dans la majorité des cas plus jeunes.

Un scénario mondial pour la réduction des émissions de CO2

Les études menées ont permis la quantification et l'évaluation des coûts sectoriels de scénarios d'attribution des droits d'émission à 2030 pour tous les pays du monde. Elles montrent qu'à partir d'un programme de réduction conduisant à une stabilisation progressive des émissions après 2030, différentes règles d'attribution peuvent conduire à des situations très variées en terme de contrainte imposée aux pays, d'échanges de permis d'émissions et de transferts de richesse dans le cas de l'instauration d'un marché de permis d'émission. Les scénarios examinés sont comparés à la lumière de différents critères visant à les qualifier du point de vue tant de l'équité internationale et de leur acceptabilité potentielle.

L'analyse des coûts marginaux de réduction est menée pays par pays à partir du modèle énergétique d'équilibre partiel POLES. C'est un modèle de simulation du système énergétique mondial à l'horizon 2030 : les évolutions démographiques et économiques, pour chacun des grands pays ou régions du monde, sont considérées comme exogènes ; en revanche, les évolutions de l'ensemble des variables caractérisant la consommation, la transformation, la production et les prix de l'énergie sont endogènes au modèle (Criqui et al., 1996).

Ses principales utilisations relèvent de trois grands types d'exercices :

1. *Prospective détaillée du système énergétique mondial*, par grand pays ou région, avec simulation de la demande par secteur, des technologies énergies nouvelles et renouvelables, des systèmes électriques, de l'offre et des prix des hydrocarbures.
2. *Analyse du progrès technique du secteur de l'énergie* soit avec simulation de scénarios exogènes de « percée technologique », soit par une endogénéisation des effets cumulatifs d'expérience et d'apprentissage sur les nouvelles technologies.
3. *Simulation des impacts potentiels de la prise en compte des contraintes d'environnement global*, exprimées dans les accords internationaux sur la limitation des gaz à effet de serre, avec calcul des Coûts Marginaux de Réduction par pays et par secteur et utilisation du logiciel spécialisé ASPEN (Analyse des Systèmes de Permis d'Emission Négociables) pour la simulation de « marchés de droits d'émission », éventuellement régulés (Criqui et al., 1999 ; Blanchard et al., 2000).

Le modèle est un modèle de simulation récursive : la dynamique est donnée, à partir du point initial puis d'année en année, par les ajustements progressifs des variables d'offre et de demande d'une part et de prix d'autre part.

L'horizon prospectif a été volontairement limité à une trentaine d'années, dans le souci de conserver dans le modèle des technologies « explicites » et non « génériques » : hypothèse est faite que les technologies qui pourront avoir un impact quantitatif significatif en 2030 doivent être au moins identifiées aujourd'hui. Le scénario de Référence POLES constitue une projection du système énergétique mondial à l'horizon 2030, prenant en compte l'ensemble des changements structurels qui peuvent être attendus sur cet horizon de temps dans l'économie mondiale et les technologies énergétiques. Cependant, la Référence n'inclut pas les conséquences de la mise en œuvre de politiques climatiques visant au respect d'engagements quantitatifs contraignants pour les émissions de gaz à effet de serre.

A partir du scénario de Référence, les courbes de Coût Marginal de Réduction sont construites par des simulations successives avec une valeur du carbone croissante dans tous les modules du modèle énergétique. Puis elles sont ensuite introduites dans le logiciel ASPEN qui simule l'équilibre du marché international de droits d'émission, puis calcule les coûts associés à chaque jeu d'objectifs de réduction, successivement dans l'hypothèse sans échange de permis et avec échange de permis.

Simulation et analyse du scénario de contrainte d'émissions dans un cadre d'équilibre général

La modélisation des liens entre le développement et l'environnement pose à l'économiste le problème des objets qu'il doit représenter :

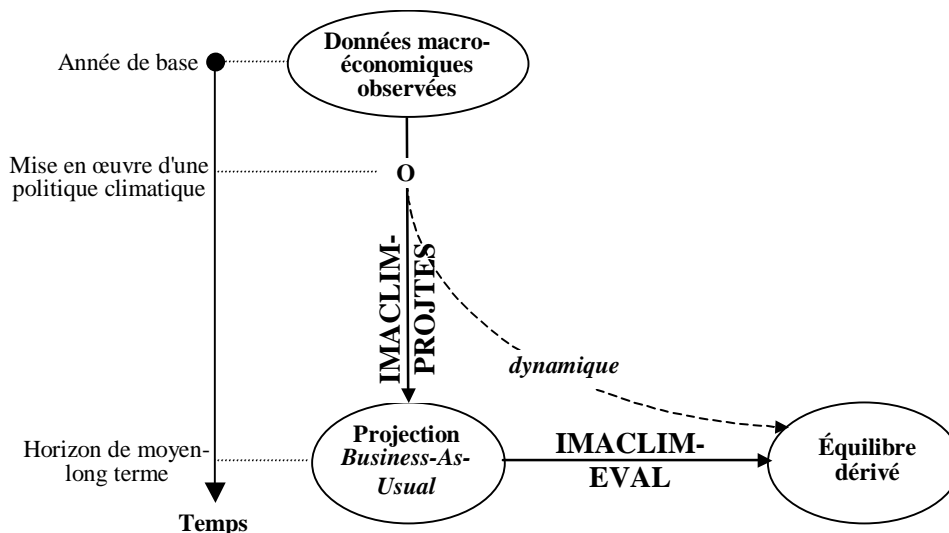
- d'une part l'activité économique n'est porteuse d'externalités environnementales que par la médiation d'objets techniques, qu'il s'agisse des biens de consommation ou des techniques de production : un même produit intérieur brut (PIB) par habitant ou une même valeur

ajoutée sectorielle peuvent correspondre à des contenus matériels très différents ; or, ce sont ces contenus matériels qui importent.

- d'autre part les principaux enjeux du développement durable relèvent généralement moins d'un problème d'affectation efficace de ressources rares au sein d'un système technique donné¹ que de l'exploration des degrés de flexibilité susceptibles d'être apportés par l'innovation ou la transformation des comportements, à plus ou moins long terme.

Devant la difficulté de modéliser un sentier de croissance complet, avec cycles et points d'inflexion, et surtout d'en tirer des outils numériques suffisamment opérationnels pour éclairer les débats sur les tendances de très long terme, le développement et l'utilisation d'un modèle de croissance semble inadapté aux questions abordées par ARES. À l'opposé, l'approche statique en équilibre général telle que développée par Samuelson est un terrain beaucoup plus ferme, balisé et connu, si bien que c'est sur elle que s'est porté le choix des modélisateurs. La figure 1 présente le principe général gouvernant les travaux entrepris, pour une économie donnée.

Figure 1 : Le modèle IMACLIM



L'objectif est de déterminer de quelle façon l'introduction d'une politique climatique influe à long terme sur l'état d'une économie. Pour ce faire, on procède en deux temps :

- projection, avec le module IMACLIM-PROJTES, d'un tableau entrées-sorties (TES), à un horizon qui soit assez distant pour rendre tenable l'hypothèse selon laquelle l'économie se situe sur un sentier de croissance équilibré ;
- exercice de statique comparative, avec le module IMACLIM-EVAL, pour déterminer le nouvel équilibre engendré par la politique climatique étudiée (en particulier les changements de prix de l'énergie). L'exercice de statique comparative suppose que l'économie, après s'être adaptée à la « perturbation » induite par les politiques examinées, a retrouvé un nouveau sentier de croissance équilibré.

¹ Le terme de « système technique » doit être ici compris au sens large et englobe les systèmes de production et de consommation.

Il faut insister ici sur le fait que l'analyse statique est par définition muette concernant le cheminement—en pointillés sur la figure 1—suivi par l'économie considérée entre la mise en œuvre de la politique analysée et l'horizon retenu. Simplement on suppose que, si l'économie est sur un sentier stabilisé, l'ensemble des contraintes imposées par les équations d'équilibre général et les informations venant du modèle POLES concernant le système énergétique suffisent, avec un minimum d'hypothèses *ad hoc* (comme la constance de certains comportements économiques entre les deux équilibres), à calculer un nouvel équilibre. Pour un scénario énergétique donné, ce nouvel équilibre constitue une évaluation crédible dès lors qu'on ne fait pas l'hypothèse de phénomènes d'hystérésis par lesquels les processus de cheminement changent les relations tenues constantes.

Le mode de résolution retenu se distingue sur deux points de la majorité des travaux existant en équilibre général :

- l'équilibre obtenu n'est pas nécessairement « de premier rang » ou en marchés parfaits et permet en particulier des équilibres de sous-emploi ;
- les élasticités de réponse des consommateurs et des entreprises aux signaux-prix ne sont pas constantes ; ce sont des élasticités ponctuelles calibrées sur les résultats de POLES.

La première étape a consisté à construire des tableaux-économiques d'ensemble à neuf secteurs pour 14 pays ou zones économiques couvrant le globe. La base de données GTAP 4.0 sur 45 régions et 50 secteurs a été utilisée comme cœur du dispositif pour la construction des TES, mais un travail de collecte complémentaire a été effectué auprès de sources variées, internationales comme nationales. En revanche la nouveauté du dispositif est la finalisation d'un long travail de prospection et d'analyse, qui a permis de constituer une base de données des grands agrégats fiscaux d'une majorité de pays du monde entier couvrant, moyennant quelques interpolations, l'ensemble des 14 zones de l'étude.

Il s'est ensuite agi de projeter les équilibres d'ensemble en 2030, ceci en stricte cohérence avec d'une part les projections du CEPPI en matière de croissance de PIB et de la productivité du travail, d'autre part les projections de POLES concernant l'évolution des systèmes énergétiques. Or, les projections de POLES s'appuient sur celles de valeur ajoutée du CEPPI sans recours à un modèle de croissance multisectoriel explicite ; en conséquence, plusieurs équilibres prix-quantités peuvent être définis qui assurent la cohérence des deux blocs de données, et la réduction de leur nombre ne peut être faite que par des hypothèses *ad hoc* (par exemple sur la transformation de la matrice de Léontieff). C'est pour limiter au maximum le recours à de telles hypothèses que nous avons utilisé, dans les exercices numériques, une désagrégation en deux biens, ce choix garantissant la lisibilité des résultats, leur robustesse, ainsi que la facilité d'exécution de tests simples d'incertitudes paramétriques.

Trois jeux d'analyse ont alors pu être effectués. Un premier en faisant l'hypothèse d'une rétrocession gratuite des quotas aux émetteurs de chaque zone ; un second en considérant que cette rétrocession se faisait par le biais d'enchères, avec recyclage des produits de l'enchère dans une diminution des fiscalités les plus distorsives (fiscalité sur l'emploi en la matière) ; une troisième série de simulations analyse l'impact de l'ouverture d'un marché international du carbone sur les résultats de chaque zone en cas de rétrocession gratuite.

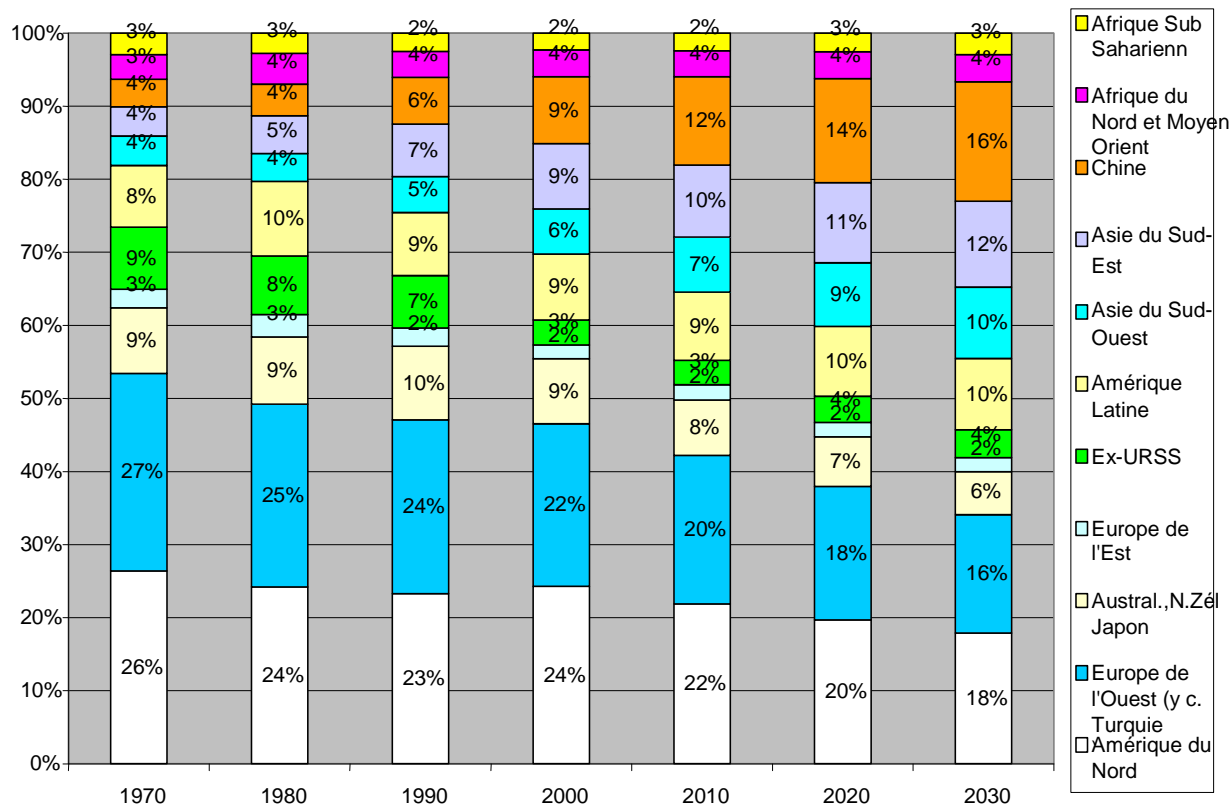
D. RÉSULTATS

Scénario économique : Poids des pays et des régions dans le PIB mondial en 2030

L'« image du monde » présentée par la projection économique est celle d'une croissance économique soutenue (croissance du PIB mondial de 3 % en moyenne sur la période 2000-2030), d'une croissance démographique sur le déclin et d'un progrès technique au même rythme que sur les 30 années passées. En termes de partage du PIB mondial, la diminution du poids des régions anciennement industrialisées et démographiquement vieillies s'accélère. Comme au cours des trente années passées, c'est l'Asie du sud qui gagne d'ici 2030 tout le terrain perdu par les pays industrialisés.

Le scénario de référence implique un changement important du poids des régions dans le PIB mondial entre 2000 et 2030, à cause d'une part de l'accélération de la croissance de la productivité de certains pays par effet d'accumulation du capital, et d'autre part des disparités des évolutions démographiques, exogènes au modèle (Figure 2). Ces deux effets jouent dans la plupart des cas dans le même sens, puisque la maturité démographique va habituellement de pair avec la maturité économique. La diminution du poids des régions anciennement industrialisées et démographiquement vieillies serait encore plus forte si l'hypothèse n'avait pas été faite dans ce scénario d'une accélération du progrès technique dans ces seuls pays.

Figure 2 : Évolution de la part des régions dans le PIB mondial



Le déplacement du centre de gravité économique du monde est en continuité avec l'évolution des 30 dernières années, mais les rythmes de changement sont modifiés. La baisse de la part des pays anciennement industrialisés s'accélère : l'ensemble des *pays de l'OCDE* représentaient 62 % du PIB mondial en 1970 et encore 54 % en 2000 ; leur part baisse à 40 % en 2030. La baisse de la part du Japon, qui n'a commencé qu'en 1980, est particulièrement rapide.

La part des *pays en transition* avait beaucoup régressé dans l'ensemble mondial entre 1970 et 2000 ; dans notre scénario, ces pays parviennent juste à maintenir leur part du PIB mondial à 5 %.

Aussi bien dans ses caractéristiques économiques que démographiques, *l'Amérique latine* occupe une position médiane : sa part du PIB mondial a peu augmenté depuis 1970, et augmente à peine dans notre prévision, atteignant 10 % en 2030.

Comme au cours des trente années passées, dans notre prévision, c'est *l'Asie du sud* qui gagne d'ici 2030 tout le terrain perdu par les pays industrialisés : de 12 % en 1970, sa part est passée à 24 % en 2000, et monterait à 38 % en 2030, soit presque autant que les pays de l'OCDE. L'Asie du sud-est ayant atteint une certaine maturité économique, la hausse de sa part se ralentit. Il en est de même de la Chine, freinée quant à elle par le ralentissement démographique, mais dont les gains restent les plus rapides du monde. L'Asie du sud-ouest accélère légèrement sa progression.

Les deux régions où apparaissent les plus grandes difficultés économiques, *l'Afrique du nord et le Moyen-Orient* d'une part et *l'Afrique sub-saharienne* d'autre part, maintiennent leur quote-part du PIB mondial (à 4 et 3 % respectivement) grâce à leur dynamisme démographique. En définitive, le poids de l'ensemble des pays en développement dans le PIB mondial avait augmenté de 27 à 39 % entre 1970 et 2000 ; il atteindrait 54 % en 2030 dans notre scénario de référence.

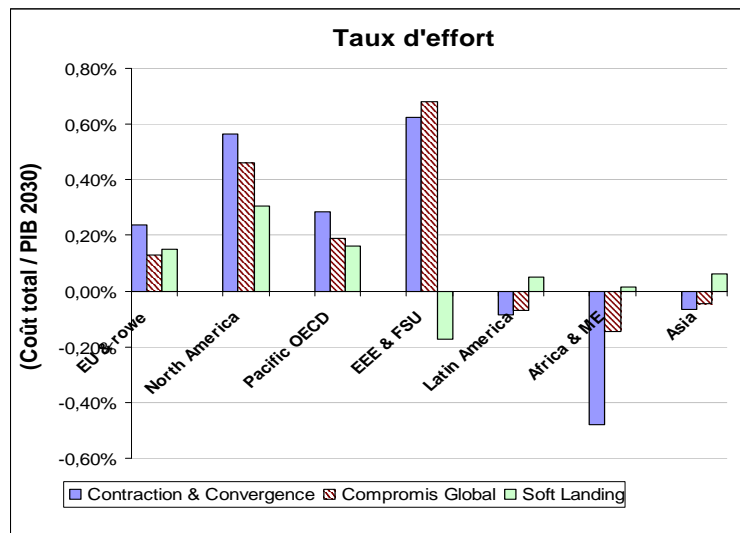
Scénarios de contrainte d'émission en équilibre sectoriel

Un des résultats clé de cette partie de l'étude est que, dans l'hypothèse où il n'y a pas d'échange, les coûts marginaux de réduction (CMR) et les taux d'effort (rapport du coût sectoriel total sur le PIB) sont d'une façon générale d'une part très différenciés et d'autre part très élevés pour les pays industrialisés. Ce constat est particulièrement frappant pour les scénarios *Contraction et Convergence* et *Compromis Global* (avec des CMR pour les pays développés variant entre 250-800 \$/tC pour *Compromis Global* et même entre 450-1100 \$/tC pour *Contraction et Convergence*), alors même que dans ces deux derniers cas apparaissent des quantités importantes « d'air chaud tropical » pour les pays non-Annexe B.

Il apparaît ainsi clairement que les scénarios de long terme doivent considérer la mise en place de marché de droit d'émission, qui conduit alors à l'égalisation des coûts marginaux des différents pays / régions autour de 100 \$/tC (95 \$/tC dans le cas d'une introduction pleine de la valeur de carbone). La mise en place d'un marché permet une meilleure répartition du fardeau et conduit à la mise en œuvre d'un programme mondial de réduction économiquement beaucoup plus efficace que dans l'hypothèse sans marché. Elle conduit à des transferts de droits d'émission négociables des pays peu contraints vers ceux fortement contraints, ce qui correspond évidemment à un transfert de richesse dans l'autre sens. Du fait de leurs contraintes plus importantes sur les pays développés, les cas *Contraction et Convergence* et *Compromis Global* ont des transferts plus importants que le cas *Soft Landing* (respectivement 1645 MtC et 1341 MtC contre 754 MtC).

Le taux d'effort (coût sectoriel de réduction ramené au PIB de la région) permet de visualiser quel serait l'impact par rapport à l'état de développement des différents pays (Figure 3).

Figure 3. :



Globalement, on constate que *Contraction et Convergence* est le plus favorable pour les pays en voie de développement alors que *Soft Landing* est plus avantageux pour les pays de l'Annexe B. On note cependant un certain nombre d'exceptions :

- L'Union Européenne prise comme un tout (i.e. en considérant la mise en place d'un marché interne, et un comportement unifié sur le marché des droits de d'émissions) se trouve moins contrainte dans le scénario *Compromis Global* du fait d'une faible différence entre la part des émissions mondiales et la part de la population en 2010, ce qui reflète des émissions par tête modérées en 2010 (année de référence pour le scénario *Compromis Global*).
- L'ex-URSS préférerait de loin le scénario *Soft Landing* aux deux autres, qui font entrer en considération les émissions par tête, du fait de consommations énergétiques et d'émissions par tête élevées dans la référence. Le Moyen-Orient et la Chine préféreraient aussi le *Soft Landing* pour les mêmes raisons, bien que de manière moins prononcée.

La construction de ces scénarios a imposé de fixer un ensemble de paramètres ou hypothèses qui ont été ajustés au mieux en fonction des objectifs de l'étude, mais qui pourraient être éventuellement explorés dans des études complémentaires. Néanmoins, les résultats obtenus dans l'étude pour le secteur énergétique, font apparaître les difficultés qui pourraient surgir dans la mise en œuvre de modes d'attribution de type *Contraction et Convergence* au niveau international : alors que ces modes d'allocation présentent des caractéristiques apparemment intéressantes en termes d'équité internationale, les coûts qu'ils imposeraient à certains des acteurs-clé des négociations à venir – Etats-Unis, Russie, Chine – apparaissent très élevés et l'on peut douter alors que ce type de solution leur paraisse acceptable.

Contraintes d'émission en équilibre général

Impacts sur les économies, avec permis gratuits et sans marché mondial

En cas de rétrocession gratuite des quotas, et en l'absence de marché mondial du carbone, quatre commentaires principaux s'imposent :

a) la hiérarchie des coûts marginaux de la contrainte carbone reste largement identique selon que l'on considère le prix du carbone en équilibre sectoriel ou en équilibre général ;

b) le prix du carbone est toujours plus bas en équilibre général, pour deux raisons. D'une part, dans la plupart des cas l'activité économique chute, et une partie du « travail » à effectuer pour satisfaire la contrainte carbone se fait donc par baisse de l'activité générale, nécessitant ainsi un moindre signal-prix ; le mécanisme joue tout particulièrement dans le scénario *Contraction et Convergence*. D'autre part, et ce second effet prime fortement sur le premier, IMACLIM tient compte des effets en retour du renchérissement du prix du bien composite sur le prix du bien énergie, alors que POLES raisonne à prix de production de ce bien constant. L'importance de ce bouclage macroéconomique est particulièrement sensible dans les pays (ex-URSS, Chine, Inde) où l'énergie représente une part importante du coût de production : des coûts marginaux même faibles ont un impact relativement fort sur la consommation des ménages.

c) les hiérarchies des taux d'effort et des baisses de consommation finale des ménages sont très similaires sur l'ensemble des zones, exception faite de rares zones où la rétrocession gratuite d'un quota contraignant se traduit par un gain net de consommation des ménages. Ces exceptions se justifient soit par une trop grande hétérogénéité des économies agrégées, soit, cas plus significatif, par référence à l'économie du développement, qui indique que les équilibres macroéconomiques soutenant les données macroéconomiques collectées sont sous-optimaux : l'introduction d'une contrainte carbone « force » un meilleur choix de processus de production.

d) les différences de hiérarchie entre zones les plus et les moins affectées sont très importantes si on compare les prix du carbone aux indicateurs macroéconomiques ;

e) un ensemble de conclusions substantielles robustes sont communes à l'analyse sectorielle et à l'analyse en équilibre général :

- politiquement le scénario *Contraction et Convergence* sans échanges internationaux apparaît difficilement possible : ex-URSS, Etats-Unis et Japon subissent en effet des pertes de consommation des ménages très fortes. De plus, on ne peut compter pour l'imposer sur un front commun des pays en développement puisque la Chine doit subir un prix net du carbone de \$34 et une baisse de 1,33% de la consommation finale des ménages ;
- le scénario *Soft Landing* est naturellement favorable aux pays industriels mais c'est aussi le scénario le moins coûteux pour la Chine. En revanche, contrairement aux deux autres scénarios il implique une contrainte réelle pour les autres pays en développement comme l'Inde et le Brésil ;
- le scénario Compromis Global donne par construction des résultats intermédiaires. On notera cependant que c'est, toujours par construction, le scénario le plus favorable à l'Europe mais le plus défavorable à l'ex-URSS.

Impacts sur les économies avec permis aux enchères et recyclage, sans marché mondial

La prise en compte des marges de manœuvre fournies par les systèmes fiscaux préexistants modifie de façon très sensible certains des résultats en rétrocession gratuite :

a) sur le critère des pertes de consommation finale des ménages, les hiérarchies découlant de l'hypothèse d'attribution gratuite des permis sont significativement transformées par les effets de la baisse des autres prélèvements obligatoires (sous condition de constance de la part de ces prélèvements sur la production distribuée) permise par les revenus de la vente aux enchères des permis d'émission couvrant le quota de chacune des zones.

b) les mêmes mécanismes jouent, dans les autres scénarios mais on notera que le double-dividende obtenu n'est pas une fonction linéaire de la taxe carbone implicite et passe le plus souvent par un maximum. En d'autres termes on met en évidence un rendement décroissant de l'utilisation des marges de manœuvre fiscales, qui apparaît lorsque la hausse des dépenses énergétiques des ménages vient annuler l'augmentation de leur revenu engendré par une hausse de l'intensité travail et lorsque l'effet d'éviction sur les investissements productifs hors énergie joue de façon sensible.

c) les prix du carbone sont supérieurs aux prix enregistrés dans les scénarios à permis gratuits. On pouvait s'attendre à ce résultat puisque la perte de croissance est moindre dans les scénarios avec enchères. Plus paradoxal est le comportement par rapport aux prix de POLES dans les cas avec double-dividende. En fait deux mécanismes jouent en sens inverse : d'un côté, en raison de la baisse des charges sociales, la hausse des prix de l'énergie pour un prix donné du carbone est plus faible que dans les scénarios à permis gratuits, ce qui rend nécessaire un prix du carbone supérieur ; de l'autre, le signal-prix reçu par l'appareil productif n'est pas le prix nominal mais le ratio entre ce prix nominal et le coût des autres facteurs de production. Or comme le coût du travail baisse, le prix relatif de l'énergie par rapport aux autres facteurs de production augmente plus que ne le suggère le prix nominal, induisant ainsi des baisses plus importantes de consommation énergétique.

d) la hiérarchie des divers systèmes d'allocation ne change paradoxalement pas de façon radicale puisque le scénario C&C conduit à des pertes de consommation des ménages, certes réduites mais toujours significatives, pour les États Unis et le Japon. Les allocations *Soft Landing* permettent un coût en consommation inférieur à 1% pour l'ensemble des zones, et même un gain net pour la majorité d'entre elles, mais à l'exception de trois acteurs majeurs, États Unis, ex-URSS, Japon. Les allocations *Compromis Global* aboutissent au même résultat mais avec un coût en consommation nettement supérieur pour les États Unis.

e) le jugement sur l'acceptabilité des scénarios renvoie au jugement politique sur la volonté à payer des différents pays et de leurs consommateurs. Il est probable que les consommateurs seront davantage sensibles au signal tangible de l'augmentation des prix de l'énergie qu'à l'évolution plus intangible des indicateurs macroéconomiques. De ce point de vue, les allocations *Soft Landing* apparaissent nettement supérieures aux allocations *Compromis Global* si on s'en tient à la zone OCDE : elles conduisent à un prix du carbone de 50% inférieur pour les États-Unis, et jusqu'à 30 fois inférieur pour l'ex-URSS, les augmentations enregistrées pour l'Europe et le Japon n'étant pas significatives. Tout se joue alors sur l'acceptabilité sociale des prix du carbone pour les pays en développement.

Impacts sur les économies avec permis gratuits et marché mondial

La difficulté du calcul du prix d'équilibre du marché mondial est que le résultat est très sensible aux hypothèses faites sur la quantité de permis que les États rétrocèdent aux agents privés, alors qu'en théorie, leur comportement optimum serait de conserver le monopole du commerce de carbone et de procéder en interne aux politiques fiscales maximisant le double-dividende. En fait, le réalisme de cette hypothèse peut être contesté et c'est pourquoi les scénarios développés ci-après supposent une distribution gratuite aux agents privés de la totalité des quotas de chaque pays ou région –on suppose que l'ensemble des zones ou pays se voient allouer un nombre de permis d'émissions correspondant à leur quota–, extrême inverse de l'hypothèse d'une distribution aux enchères, mais plus proche aussi des résultats de POLES, ce qui rend plus intéressante la comparaison des équilibres partiel et général.

Dans ces conditions, on trouve un prix du carbone identique dans les trois scénarios ce qui s'explique par le fait que nous avons converti le solde des échanges de carbone, soit en variation de la consommation des ménages –ce qui correspond à une allocation forfaitaire des gains de l'échange aux ménages–, soit, pour certaines zones en une hausse des investissements productifs. En revanche, nous n'avons pas itéré sur l'impact de ces transformations sur le prix d'équilibre, impact de second ordre étant donné les valeurs numériques en jeu. Quatre enseignements principaux peuvent être tirés :

a) le prix du carbone est en termes réels inférieur à celui calculé par le modèle sectoriel pour les raisons précédemment décrites : moindre croissance de l'activité, mais surtout effet en retour du renchérissement du bien composite sur le prix de production de l'énergie.

b) quel que soit le scénario, la perte de consommation des ménages est inférieure à 1% pour les pays de l'OCDE qui s'avèrent nettement gagnants de l'accès au marché mondial. Pour ces pays ou zones, les variations dans l'allocation initiale des permis ont un effet de second ordre par rapport à la baisse de la valeur du carbone que permettent les échanges.

c) la situation est paradoxale pour les pays en développement puisque, à s'en tenir à une logique purement microéconomique, ils devraient adopter en interne un prix du carbone égal au prix mondial, mais ceci, en l'hypothèse de quotas gratuits, conduirait à une baisse de la consommation des ménages même dans les cas où ils ne seraient pas contraints (C&C, CG). C'est pourquoi, il est clair que ces pays ne sauraient adopter un tel dispositif et devraient, au moins en partie, découpler leur prix intérieur du carbone du prix mondial. Pour rester homogène avec les simulations des autres régions, nous avons fait le choix de considérer que, plutôt que d'être rétrocédés aux consommateurs, les revenus de l'échanges seraient affectés à une augmentation des investissements productifs (il s'agit bien d'un transfert financier externe en partie gratuit). Dans ces cas, pour les trois scénarios, on enregistre une légère augmentation de la consommation des ménages dans la plupart des zones en développement (Brésil, Inde, autre Asie, Afrique) et une moindre baisse de la consommation finale pour la Chine.

d) les mêmes mécanismes jouent avec encore plus de force pour l'ex-URSS : dans le scénario C&C comme dans le scénario CG, la forte perte de consommation des ménages constatée en l'absence d'échanges est transformée en gain ; en revanche, on trouve dans le scénario SL, en transférant aux ménages les revenus des échanges, des baisses de consommation finales supérieures à celles des scénarios sans échanges, tout simplement parce que les ménages subissent une hausse de leurs coûts de l'énergie nettement supérieure. En procédant comme pour les pays en développement, soit en affectant aux investissements les revenus des échanges, on fait disparaître ce paradoxe et on obtient bien une baisse de consommation des ménages moindre que dans le même scénario sans marché.

E. CONCLUSIONS

L'ensemble du dispositif mis en place à l'occasion des travaux effectués a permis de démontrer la faisabilité et la pertinence d'un exercice fondé sur l'élaboration de scénarios harmonisés, l'échange d'information entre des modèles économiques de types différents et l'évaluation coordonnée de jeux de scénarios sur les contraintes d'émission au plan mondial et à l'horizon 2030.

Dans l'interface du scénario économique de croissance mondiale du CEPII et des projections énergétiques de l'IEPE, il a été possible de construire une image détaillée, et on l'espère assez robuste, des tendances de la croissance et de l'évolution des émissions de CO₂ énergétique au plan mondial. Le scénario économique se traduit déjà par un changement de la structure du PIB mondial en faveur des régions en développement –et en particulier de l'Asie. La traduction de ce scénario pour l'énergie et les émissions de CO₂ fait apparaître une forte amplification de ces tendances car d'une part, les gains d'efficacité et la saturation pèsent sur la demande dans les pays industrialisés et d'autre part, celle-ci demeure dynamique dans les régions en développement, notamment d'Asie, alors même que leur système énergétique s'appuie et s'appuiera, dans la projection sans contrainte carbone, sur des ressources locales de charbon.

L'élaboration et la comparaison de différents scénarios d'attribution des objectifs d'émission par l'IEPE a permis de montrer l'intérêt de l'étude de schémas alternatifs à ceux habituellement consignés dans la littérature. Il apparaît en effet dans cette partie de l'étude que des schémas trop exclusivement centrés sur des critères d'égalisation des droits sont susceptibles d'entraîner soit, dans l'hypothèse sans marché de droits, des coûts probablement inacceptables pour certaines Parties à la négociation (pas seulement pour des pays industrialisés) soit, dans l'hypothèse avec marché, l'apparition massive de « l'air chaud tropical » et des transferts très importants de ressources, dont on peut également douter qu'ils seront jugés acceptables par l'ensemble des Parties. Le schéma d'attribution conçu spécifiquement dans ce projet – qui privilégie la poursuite de l'effort dans les pays de l'Annexe B et un freinage progressif et différencié de la croissance des émissions des pays en développement – n'est qu'une des pistes à explorer pour concilier des objectifs globaux ambitieux et une réduction des chocs imposés aux différentes économies. Mais il constitue dans cette perspective une piste sérieuse.

Enfin l'interface entre les travaux d'évaluation économique menés à partir d'un modèle sectoriel-énergie à l'IEPE et à partir d'un modèle d'équilibre général au CIRED apparaît particulièrement riche en enseignements et fertile en développements futurs. Il a montré en effet d'une part, une bonne convergence des résultats quant à l'évaluation des impacts relatifs des différents schémas d'attribution étudiés et d'autre part des différences, toutes intéressantes à explorer, lorsque sont prises en compte les rétroactions macro-économiques potentielles des politiques de réduction des émissions. Ces divergences sont particulièrement importantes dans le cas des économies en développement ou en transition, qui présentent des caractéristiques structurelles très marquées et qui sont par là-même sensibles à toute perturbation de l'environnement économique ou du système de prix. En particulier, dans le cas de l'hypothèse d'un marché mondial de droits d'émission – qui semble bien celui à considérer dans la perspective d'un effort mondial et à long terme – la question des modalités de l'introduction de la contrainte carbone pour les différentes catégories de secteurs ou d'acteurs ainsi que celle de la gestion macro-économique des recettes ou des coûts apparaissent comme tout à fait déterminantes pour l'appréciation de l'impact global des politiques de réduction des

émissions. Ce constat ouvre sans doute sur des champs de recherche extrêmement prometteurs, en particulier sur la façon dont un gouvernement peut articuler importation de permis d'émission négociables – minimisant le coût technique agrégé de la contrainte – allocations domestiques mises en tout ou partie aux enchères et taxes carbone ciblées sur les émissions diffuses, afin de diminuer ainsi le coût social de la contrainte.

Au plan méthodologique, les conditions d'un dialogue rigoureux entre modèle sectoriel, modèle de croissance et modèle d'équilibre général semblent désormais établies. Bien évidemment ce premier pas doit être largement complété, en particulier par la construction sur les mêmes bases théoriques et méthodologiques d'un tableau entrées-sorties multisectoriel en amont de POLES et cohérent avec les scénarios à long terme du CEPII. Ceci permettrait en ultime ressort la constitution en France d'un jeu articulé de modèles dont l'intégration serait de fait plus avancée que celle prévalant dans la plupart des dispositifs existants à l'échelle mondiale.

F. PUBLICATIONS

- Kousnetzoff N.- "Croissance économique mondiale : un scénario de référence à l'horizon 2030", Document de travail du CEPII, Décembre 2001-21.
- Kousnetzoff N.- "Démographie et croissance mondiale à l'horizon 2030", La Lettre du CEPII, Janvier 2002, N° 208. Version anglaise : "The Outlook for World Demographic Change and Growth to the Year 2030". Focus, The CEPII Newsletter, n°17, Summer 2002.
- Blanchard O., Criqui P., Kitous A. et Viguiet L.- « Combining efficiency with equity: a pragmatic approach ».- In : *Providing global public goods : making globalization work for all.*- Washington : PNUD, à paraître en 2002.
- Criqui P., Vielle M., Viguiet L.- « Analyse des coûts des politiques climatiques », Complément N°3 au Rapport « *Enjeux économiques de l'effet de serre* », préparé par R. Guesnerie pour le Conseil d'Analyse Économique, à paraître à la Documentation Française en 2002.
- Hourcade J.-C.- « Unequal Carbon Constraints and International Competition: A Real Issue ? » Communication au XIXe forum du MIT sur le changement global, *Managing Fragmented Climate Regimes*. Paris, 12-14 juin 2002.
- Gherzi F.- « IMACLIM/POLES : a tentative bridge across the bottom-up/top-down gap in climate policy modelling », séance plénière du 6 juillet, conférence ECOMOD 2002, 4-6 juillet 2002, Bruxelles.

Thèse en préparation

- Gherzi F. « Les Permis d'Emission Négociables. Des Effets Directs sur les Marchés de l'Energie aux Impacts Economiques et Sociaux ». Thèse de doctorat Analyse et Politique Economiques, EHESS, sous la direction de Jean-Charles Hourcade. Soutenance en 2002

G. DONNEES

Les données utilisées dans l'étude ARES proviennent de trois sources principales :

- Pour les scénarios économiques mondiaux, la base de données CHELEM-PIB du CEPII qui regroupe un ensemble de données macro-économiques sur l'ensemble des pays du monde.
- Pour les simulations énergétiques mondiales, les bases de données ENERDATA qui constituent la source d'information du modèle POLES pour les bilans énergétiques des différentes régions du monde, base complétée par des ensembles de données préparés à l'IEPE pour le modèle POLES.
- Pour les évaluations en équilibre général la base GTAP-40, complétée par des ensembles de données concernant en particulier la structure de la fiscalité pour les différentes régions traitées avec IMACLIM dans le projet ARES.

Dans la mesure où ces données sont issues d'une part de bases de données déjà structurées (en accès libre ou restreint) et d'autre part de bases spécifiques aux modèles utilisés, il n'est pas demandé à ce stade de constitution d'une base de données unifiée.

H. RÉSULTATS-CLÉS

Au plan méthodologique, le projet ARES a montré la possibilité et l'intérêt d'un dispositif d'usage intégré de différents types de modèles économiques – modèle de croissance à long terme, modèle d'équilibre sectoriel-énergie, modèle d'équilibre général calculable – pour l'analyse des politiques climatiques au plan international. L'utilisation de jeux d'hypothèses cohérents et la création de « routines » formalisées pour le transfert d'information entre modèles – par exemple sous la forme de courbes de Coûts Marginaux de Réduction – permet notamment d'interpréter les résultats non plus en terme de différences dans les présupposés, mais en termes d'identification claire des phénomènes économiques qui sont pris en compte – ou non pris en compte – dans les différents modèles utilisés.

Au plan des enseignements pour les politiques climatiques, le projet ARES a permis de faire émerger deux grands types de conclusions :

- D'une part il apparaît que dans une perspective post-Kyoto, le choix des systèmes internationaux d'attribution de droits d'émission devra certes se fonder sur des critères d'équité internationale. Mais l'équité devra aussi être conciliée avec les considérations d'acceptabilité par les Parties à la construction du régime climatique. Il est apparu en particulier que des systèmes fondés sur l'égalité stricte des droits à long terme pouvaient être jugés beaucoup moins acceptables par certains acteurs majeurs que des systèmes plus pragmatiques, offrant une meilleure répartition des efforts entre les différentes régions du monde.
- D'autre part, l'analyse comparative des résultats à partir du modèle sectoriel et du modèle d'équilibre général a permis de confirmer les hiérarchies obtenues en termes de coût total ou de coût pour les principales parties à la négociation. Mais elle a aussi permis de démontrer l'importance déterminante des modalités de rétrocession sectorielles en interne et de recyclage des revenus fiscaux, lorsqu'ils existent, sur le résultat final en termes d'impact économique des politiques climatiques.