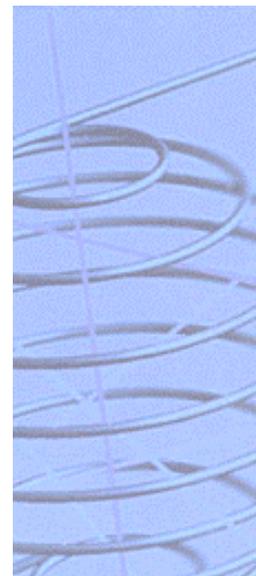


**CLIMNEG**  
**«Changements Climatiques, Négociations  
Internationales et Stratégies de la Belgique »**

Rapport final

UCL – CORE  
UCL – ASTR  
KULeuven – CES – ETE  
Bureau Fédéral du Plan



***Changement global et développement durable***  
*Sous-programme 2 : appui scientifique à la politique belge*

***Global change en duurzame ontwikkeling***  
*Deelprogramma 2: wetenschappelijke ondersteuning van het beleid in België*

N° CG/DD/24

Développement durable | Duurzame ontwikkeling



FEDERALE DIENSTEN VOOR  
WETENSCHAPPELIJKE, TECHNISCHE  
EN CULTURELE AANGELEGENHEDEN

Wetenschapsstraat 8 ■ B-1000 BRUSSEL  
Tel. 02 238 34 11 ■ Fax 02 230 59 12  
URL : [www.belspo.be](http://www.belspo.be)

SERVICES FEDERAUX DES  
AFFAIRES SCIENTIFIQUES,  
TECHNIQUES ET CULTURELLES

rue de la Science 8 ■ B-1000 BRUXELLES  
Tél. 02 238 34 11 ■ Fax 02 230 59 12  
URL : [www.belspo.be](http://www.belspo.be)



D/2001/1191/64

Uitgeven in 2001 voor de

Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden

Publié en 2001 par les

Services fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles

Voor meer informatie / Pour d'autres renseignements :

Madame A. Fierens

DWTC/SSTC

Wetenschapstraat 8 rue de la science

Brussel 1000 Bruxelles

Tel. : + 32-2-238.36.60

Fax. : + 32-2-230.59.12

E-mail : fier @belspo.be

Internet : <http://www.belspo.be>

Noch de Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden (DWTC), noch eenieder die handelt in de naam van de DWTC is verantwoordelijk voor het gebruik dat van de volgende informatie zou worden gemaakt.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën of enige andere manier zonder de aanduiding van de referentie.

Les services fédéraux des Affaires scientifiques, techniques et culturelles (SSTC) ainsi que toute personne agissant en leur nom ne peuvent être tenus pour responsables de l'éventuelle utilisation qui serait faite des informations qui suivent.

Cette publication ne peut ni être reproduite, même partiellement, ni stockée dans un système de récupération ni transmise sous aucune forme ou par aucun moyens électronique, mécanique, photocopies, enregistrement ou autres sans y avoir indiqué la référence.

**OSTC (DWTC/SSTC)**  
**Services du Premier Ministre**  
**Affaires Scientifiques, Techniques et Culturelles**

## **Rapport final 2001**

**"Changements Climatiques, Négociations Internationales et  
Stratégies de la Belgique"**

**(Réseau CLIMNEG)**

*Equipes partenaires:*

- I. UCL-CORE**
- II. UCL-ASTR**
- III. KULeuven-CES-ETE**
- IV. Federal Planning Bureau**

*coordinateur:*

**Professeur Henry Tulkens**  
Université catholique de Louvain  
C.O.R.E.  
34, voie du Roman Pays  
B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgique  
Tel: + 32 10 47.43.32  
Fax: + 32 10 47.43.01  
e-mail: [tulkens@core.ucl.ac.be](mailto:tulkens@core.ucl.ac.be)

### ***Plan du rapport***

- I. Executive Summary**
- II. Liste des CLIMNEG/CLIMBEL Working Papers**
- III. Rapport final 2001**

# **"Changements climatiques, négociations internationales et stratégies de la Belgique" (Réseau CLIMNEG) Rapport final 2001**

## **I**

### **"Executive Summary"** par Henry Tulkens, coordinateur du réseau

#### **1. Objectifs et stratégie de recherche**

Conçu dans les premiers mois de 1996 et mis sur pied à la fin de cette même année, le réseau a été consacré à l'étude *interdisciplinaire* de la prise de décision dans les matières relatives aux changements climatiques.

L'objectif global était d'intégrer des connaissances de la théorie économique (CORE), des sciences climatiques (ASTR), de la simulation économétrique (CES), de l'expérience administrative et diplomatique (FPB) dans ce domaine, en utilisant des modèles de simulation en tant qu'instrument de recherche principal et langage commun.

La stratégie consistait à structurer le travail en quatre parties, correspondant à quatre projets mis en œuvre:

Le Projet CLIMNEG I: Sur la base des modèles économico-climatiques existants, le premier objectif a été de développer leurs composants économiques en recherchant une caractérisation des politiques (scénarios) de réduction des gaz à effet de serre dans un modèle mondial multi-régional, au niveau de trois critères (optimalité, équité, stabilité stratégique), en analysant les différentes manières de répartir les charges de ces politiques et en examinant la possibilité d'activités à mettre en œuvre conjointement par différents groupes de pays.

Le Projet CLIMNEG II avait pour objectif de rechercher des développements des composants climatiques des modèles de base en intégrant des fonctions de transfert qui reflètent les plus récents progrès technologiques et, partant, d'évaluer les effets sur le climat mondial des différents scénarios étudiés dans la composante économique.

Le Projet CLIMNEG III avait pour objectif d'inclure, dans une composante économétrique ajouté aux modèles de base, les effets de ces politiques sur les équilibres économiques à l'échelle mondiale, européenne et belge.

Le Projet CLIMNEG IV devait confronter les activités de recherche à la pratique, en étudiant deux aspects fondamentaux de la mise en oeuvre institutionnelle des politiques, à savoir la mise en application des instruments et les mécanismes de coordination entre les décisions prises par les pays concernés.

A l'aide des méthodes de chacune des disciplines intervenant dans le réseau (physique, économie, économétrie), le but était de définir, de caractériser et de calculer les politiques de réduction des gaz à effet de serre à l'échelle mondiale, européenne et belge. Les résultats de la simulation devaient servir de référence pour ceux qui sont chargés de représenter notre pays dans les négociations internationales.

## **2. Résultats**

Bien que les résultats soient présentés ci-après sous quatre titres qui correspondent grosso modo aux quatre projets décrits ci-dessous, il faut souligner que les interactions entre les chercheurs ont été si fortes qu'on peut considérer ces résultats comme appartenant à l'ensemble de l'équipe de chercheurs. Un projet de recherche associé, appelé CLIMBEL, lancé en 1998, et qui fait l'objet d'un rapport distinct, a produit des résultats complémentaires. Les résultats des projets CLIMNEG et CLIMBEL sont réunis dans la série des *CLIMNEG-CLIMBEL Working Papers* dont les titres figurent à la fin de ce rapport. Ils sont désignés par l'abréviation **CWP** suivie du numéro de la série.

Etant donné que l'espace réservé à ce résumé est limité, nous avons été obligés d'opérer une sélection parmi les contributions, sélection davantage guidée par la nécessité d'une homogénéité que par l'importance intrinsèque des certains articles. Ce résumé est donc incomplet. Une appréciation plus approfondie des contributions peut être obtenue en lisant le rapport final ou, mieux encore, les articles eux-mêmes.

### **I. Au niveau de la *théorie économique*, le projet a essentiellement permis de tirer les conclusions suivantes:**

- Extension aux externalités de type *stock* – une extension exigée par la nature du problème des changements climatiques – des résultats trouvés dans la littérature *sur*

*la stabilité stratégique des accords de coopération* dans les problèmes de pollution (flux) transfrontalière. Les résultats obtenus ici (**CWP 1, 2, 6**) comprennent essentiellement une formule explicite destinée à calculer les transferts de ressources internationaux qui induisent la propriété de stabilité stratégique. Le fait que cette extension ait été couronnée de succès a ouvert la voie à des simulations numériques décrites aux points II et III ci-dessous.

- Combinaison de *considérations d'équité* avec les conditions d'efficacité et d'acceptabilité stratégique dans la conception des scénarios de réduction. L'instrument est une nouvelle fois celui des transferts de ressources internationaux, inspiré par ceux mentionnés ci-dessous, mais corrigés par des critères d'équité, et dérivés des allocations initiales alternatives de permis d'émission négociables (**CWP 39**).
- Une *interprétation* du *protocole de Kyoto* à la lumière de la théorie des jeux (**CWP 12**). Sur la base d'une modélisation explicite découlant de la théorie économique des marchés concurrentiels ainsi que de la théorie des jeux coopératifs, nous établissons les conclusions suivantes:
  - (i) les quotas adoptés dans le protocole de Kyoto constituent un pas dans la bonne direction, du point de vue de l'optimalité économique et environnementale internationale;
  - (ii) les mécanismes d'échange des permis d'émission permettent une allocation efficace et stratégiquement stable entre les divers pays de l'effort de réduction général mentionné précédemment;
  - (iii) concernant les périodes futures d'engagement, le "schéma de Kyoto" des quotas – correctement attribués – ainsi que des permis négociables constitue un instrument approprié pour la réalisation finale d'un optimum international, caractérisé par la stabilité stratégique.

## **II. Au niveau de la *modélisation climatique*, les principaux résultats du projet sont les suivants:**

- Développement d'un module climatique amélioré, à partir du modèle de Kverndokk, validé sur la base d'autres modèles bidimensionnels (**CWP 21**).

- Extension de ce modèle amélioré, dans laquelle les trajectoires d'émissions sont traduites en changements climatiques *régionaux*, et destinée à être intégrée dans le modèle économique à travers les fonctions de dommages causés par les changements climatiques.
- Introduction des *aérosols sulfatés*: les aérosols sulfatés constituent une des raisons principales de l'importance de la régionalisation des impacts dans les études économiques. Il convenait toutefois de concevoir une manière simplifiée de représenter l'effet régional des aérosols. La première tentative était fondée sur les résultats du modèle bidimensionnel d'ASTR-UCL, qui comprend l'effet des aérosols (**CWP 7**). Des informations géographiques supplémentaires ont été obtenues de simulations tridimensionnelles existantes effectuées à l'aide de modèles couplés de circulation atmosphérique-océanique générale, prenant en compte à la fois les gaz à effet de serre et les aérosols.

Grâce à ces améliorations du module climatique (régionalisation et traitement des aérosols sulfatés), les modèles climato-économiques couplés mentionnés aux points **I** ci-dessus et **III** ci-dessous ont une longueur d'avance sur les modèles existant dans la littérature. Les premières simulations utilisant ce module climatique amélioré sont décrites dans le **CWP 32** et dans le **CWP 44**.

### **III. Au niveau de la modélisation économique et des simulations économétriques, les principaux résultats du projet sont les suivants:**

- Au niveau *mondial*:
  - Un modèle d'évaluation à six régions, appelé "*Climneg World Simulation*" (*CWS*), a été mis au point, dérivé du modèle de Nordhaus et Yang publié en 1996. Pour ce modèle *CWS*, nous avons calculé les transferts qui induisent la stabilité, décrite au point **I** ci-dessus, et déterminé les trajectoires des émissions de coopération efficaces et stables. Celles-ci se sont avérées beaucoup plus exigeantes que les trajectoires d'équilibre de Nash, bien que le profit économique qu'elles induisent ne soit que modéré. Cela jette une certaine lumière sur le problème de l'importance relative de politiques nationales par rapport à une politique mondiale. Une autre découverte remarquable découlant de ces simulations est que, même si la consommation mondiale augmente régulièrement à long terme selon les scénarios d'émissions efficaces (et stables), la consommation mondiale – ainsi que le commerce – diminuent

à partir du milieu du siècle prochain selon les scénarios Nash et "business-as-usual" (**CWP 18 et 19**).

- Une extension du modèle CWS a été ensuite formulée (**CWP 32**) pour tenir compte des *aérosols sulfatés*, qui freinent les effets des concentrations de CO<sub>2</sub> sur la température. Alors que cela semble vraiment s'avérer dans les périodes proches, les périodes plus lointaines (au-delà de 2100) présentent une prépondérance écrasante des effets du CO<sub>2</sub>, qui rend la réduction des émissions de soufre irrationnelle.
- Enfin, la *stabilité* des formes alternatives de *coopération internationale* a été testée à l'aide du modèle CWS dans le **CWP 40**, sur la base de la théorie de la formation endogène de coalitions. L'analyse conclut à une forte stabilité de la "coalition de Kyoto", malgré les écarts plausibles de la part de pays de l'ex-Union Soviétique.
- Au niveau *européen*:
  - L'accord de répartition des charges de la "bulle" UE sur la distribution de l'objectif de réduction des émissions de Kyoto pour les Etats membres de l'UE, a été étudié en utilisant l'approche de "l'optimum inverse" et les courbes du coût marginal de réduction. Les simulations ont montré que la bulle UE s'améliore en termes de coût/efficacité par rapport à une allocation de réduction uniforme, mais que des différences substantielles persistent sur le plan des coûts marginaux. (**CWP 33**).
  - En utilisant le modèle (préexistant) d'équilibre général à moyen terme GEM-E3, les fonctions de coût marginal de réduction ont été estimées pour les pays européens ainsi que pour 6 à 8 autres régions du monde. Cette opération a été effectuée afin de comparer les coûts globaux de la réduction d'émissions dans des situations alternatives: une situation efficace et une situation uniforme dans tous les pays. Pour les pays de l'UE, la différence est la suivante: pour une même taxe de 100 \$/tonne de CO<sub>2</sub>, l'allocation efficace des efforts a atteint 31 % alors que l'allocation uniforme (qui ne tient pas compte des différences de coût entre les pays) ne représente que 17 %.
- Au niveau *belge*:
  - En utilisant le modèle MARKAL (préexistant) d'équilibre partiel du système énergétique de la Belgique, on a estimé les coûts marginaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour le pays en 2010. On obtient un chiffre

d'environ 2000 BEF/tonne pour les réductions correspondant à l'engagement de la Belgique dans le cadre du protocole de Kyoto (**CWP 41**).

- Les *impacts macroéconomiques pour la Belgique* des politiques domestiques alternatives pour satisfaire aux objectifs de Kyoto sont également abordés dans le **CWP 41**.

**IV. A l'interface entre la recherche et la conception d'une politique**, une partie essentielle du projet CLIMNEG (un quart des ressources lui a été consacré), il faut mentionner l'intégration dans l'équipe de recherche de membres de l'administration fédérale du gouvernement belge, qui ont participé à la préparation des négociations climatiques internationales, y ont assisté, et en ont assuré le suivi.

Les tâches spécifiques attribuées à ces personnes et leurs activités au sein du réseau ont été subdivisées en quatre catégories de contributions:

- La préparation des *documents pédagogiques* destinés aux décideurs politiques et aux hauts fonctionnaires de l'administration non impliqués directement, ainsi qu'au grand public, sur divers aspects des problèmes des changements climatiques, à savoir: l'historique et l'évaluation de la collaboration internationale sur les changements climatiques au cours des dix dernières années (**CWP 28**); la théorie et l'évaluation des permis d'émission négociables (**CWP 29**); les instruments fiscaux des politiques climatiques (**CWP 30**); les instruments réglementaires des politiques climatiques (**CWP 31**); les instruments de communication dans les politiques climatiques nationales et internationales (**CWP 38**); les accords volontaires sur la réduction des émissions (types, caractéristiques, mise en œuvre, exemples) (**CWP 37**). Tous ces six documents ont été réédités en français dans le **CWP 47**.
- Les *échanges continus d'informations* et d'idées entre les académiques et les praticiens, par le biais des réunions de coordination du réseau CLIMNEG. Celles-ci ont conduit ces derniers à informer régulièrement les premiers sur les progrès les plus récents (p.ex. après les Conférences des Parties de Kyoto, Berlin, Buenos Aires, La Haye et les autres réunions de Bonn). Réciproquement, les praticiens ont bénéficié d'un large accès aux résultats conceptuels et méthodologiques à mesure de leur développement, à la fois dans le domaine de la science climatique et de l'économie (p.ex. sur les modèles climatiques alternatifs, sur les vertus des permis négociables, sur les questions de coopération, sur les techniques de simulation, etc.).

- Une motivation accrue pour les membres du personnel académique du réseau de participer, lorsqu'ils sont invités à le faire, à plusieurs événements-clés qui se sont déroulés au fil des ans dans le domaine des changements climatiques, à la fois dans les cercles belges et internationaux.
- Enfin, la diffusion des connaissances dans le public au sens large, par le biais de séminaires, de conférences, de publications d'articles de vulgarisation et d'interviews accordées à la presse écrite et audiovisuelle.

### **3. Evaluation**

Les moyens financiers mis à disposition de l'équipe de recherche ont permis non seulement de poursuivre la recherche préexistante sur les questions climatiques en Belgique, mais également de lancer de nouvelles recherches.

L'interdisciplinarité est probablement la caractéristique la plus remarquable de ce nouveau stade; elle peut même être considérée comme la plus importante car elle n'existait pas auparavant. Il suffit, pour s'en convaincre, de constater l'attention croissante accordée par les scientifiques belges aux implications socio-économiques des politiques de changements climatiques, ainsi que la préoccupation accrue des spécialistes en sciences sociales et économiques à l'égard du problème des changements climatiques.

Parmi les résultats complémentaires, propres au projet CLIMNEG, il convient de souligner qu'une équipe de personnes de plus en plus compétentes a été constituée; certaines d'entre elles sont maintenant en dehors du projet CLIMNEG, dans des fonctions et des institutions où elles continuent à faire montre de leurs compétences. La mise en place de ce type de capacité est probablement un bénéfice capital et durable du projet, pour la communauté au sens large.

Enfin et surtout, les contributions scientifiques elles-mêmes devraient avoir des effets durables. Toutefois, ceci ne peut encore être constaté, en raison de la longueur des délais de publication.

## II

### CLIMNEG & CLIMNEG-CLIMBEL WORKING PAPERS

#### List of Titles - Liste des Titres - Titellijst

Paper copies of CLIMNEG/CLIMBEL Working Papers can be obtained free of charge by ordering them at [climneg@core.ucl.ac.be](mailto:climneg@core.ucl.ac.be)

Please also visit our website at <http://www.core.ucl.ac.be/climneg>

### CLIMNEG WORKING PAPERS

- N°1: GERMAIN M., TOINT Ph. and TULKENS H., 1997, “Financial Transfers to Ensure Cooperative International Optimality in Stock Pollutant Abatement”, published as chapter 11 in Faucheux S., Gowdy J. and Nicolai I. (eds), *Sustainability and Firms: Technological Change and the Changing Regulatory Environment*, Edward Elgar, Cheltenham, 205-219, 1998.
- N°2: GERMAIN M., TULKENS H. and DE ZEEUW A., 1996, “Stabilité Stratégique en Matière de Pollution Internationale avec Effet de Stock: le Cas Linéaire”, published in *la Revue Economique*, Paris, 49 (6), 1435-1454, 1998.
- N°3: CURRARINI S. and TULKENS H., 1998, “Core-Theoretic and Political Stability of International Agreements on Transfrontier Pollution”. (Also available as CORE Discussion Paper n° 9793)
- N°4: TULKENS, H., 1997, “Cooperation vs. Free Riding in International Environmental Affairs: Two Approaches”, published as chapter 2 in Hanley, N. and Folmer, H. (eds), *Game Theory and the Environment*, Edward Elgar, London, 30-44, 1998.
- N°5: CHANDER, P., 1998, “International Treaties on Global Pollution: a Dynamic Time-Path Analysis”, appeared in Ranis, G. and Raut, L. K. (eds), *Festschrift in Honor of T.N. Srinivasan*, Elsevier Science, Amsterdam. (Also available as CORE Discussion Paper n° 9854)
- N°6: GERMAIN M., TOINT Ph., TULKENS H. and DE ZEEUW A., 1998, “Transfers to Sustain Core-Theoretic Cooperation in International Stock Pollutant Control”. (Also available as CORE Discussion Paper n° 9832)
- N°7: BERTRAND, C., 1998, “A Short Description of the LLN-2D Global Climate Model”, mimeo.
- N°8: TULKENS, H. and VAN YPERSELE, J.-P., 1997, “Some Economic Principles for Guiding International Cooperation on the Issues Raised by Climate Change”, handout for a lecture delivered at the “Global Change Workshop MIT-UCL”, Petrofina, Brussels.
- N°9: VAN YPERSELE, J.-P., 1998, “La Contrainte Climatique et le Protocole de Kyoto”, communication au Symposium “Le Protocole de Kyoto: contrainte ou opportunité? Le défi des changements climatiques”, Conseil Fédéral du Développement Durable, Bruxelles.
- N°10: EYCKMANS, J., 1999, “Strategy Proof Uniform Effort Sharing Schemes for Transfrontier Pollution Problems”, published in *Environmental and Resource Economics*, 14, 165-189.
- N°11: CHANDER, P. and KHAN, M.A., 1998, “International Treaties on Trade and Global Pollution”. (Also available as CORE Discussion Paper n° 9903)
- N°12: CHANDER, P., TULKENS, H., VAN YPERSELE, J.-P. and WILLEMS, S., 1998, “The Kyoto Protocol: An Economic and Game Theoretic Interpretation”, to be published in Dasgupta P., Kriström, B. and Löfgren K.-G. (eds), *Environmental Economics – Theoretical and Empirical Inquiries: Festschrift in Honor of Karl-Göran Mäler*, forthcoming Edward Elgar. (Also available as CORE Discussion Paper n° 9925)
- N°13: BERTRAND, C., VAN YPERSELE, J.-P. and BERGER, A., 1998, “Volcanic and Solar Impacts on Climate since 1700”, published in *Climate Dynamics*, Springer-Verlag, 15, 355-367, 1999.
- N°14: EYCKMANS, J. en PROOST, St., 1998, “Klimaatonderhandelingen in Rio en Kyoto: een Successverhaal of een Maat voor Niets?” (Also available as *Leuven Economisch Standpunt* n° 1998/91, Centrum voor Economische Studiën, Katholieke Universiteit Leuven, 1998)
- N°15: D’ASPREMONT, Cl. and GERARD-VARET, L.-A., 1997, “Linear Inequality Methods to Enforce Partnerships under Uncertainty: An Overview”, published in *Games and Economic Behavior* 25, 311-336 (1998).
- N°16: BERTRAND, C. and VAN YPERSELE, J.-P., 1999, “Potential Role of Solar Variability as an Agent for Climate Change”. *Climatic Change*, 43, 387-411, 1999.
- N°17: D’ASPREMONT, Cl., 1998, “La Justice entre les Générations”, published in *Reflets et Perspectives de la Vie Economique* (Brussels), 38 (1), 11-14, 1999.
- N°18: EYCKMANS, J. and TULKENS, H., 1999, “Simulating with RICE Coalitionally Stable Burden Sharing Agreements for the Climate Change Problem”. (Also available as CORE Discussion Paper n° 9926)
- N°19: GERMAIN, M. and VAN YPERSELE, J.-P., 1999, “Financial Transfers to Sustain International Cooperation in the Climate Change Framework”. (Also available as CORE Discussion Paper n° 9936)

**CLIMNEG-CLIMBEL WORKING PAPERS**

- N°20: VAN STEENBERGHE, V., 1999, "La Conception d'un Marché Domestique de Droits d'Emission de Gaz à Effet de Serre : Aspects Economiques", miméo.
- N°21: BERTRAND, C. and VAN YPERSELE, J.-P., 1999, "Development of a New Climate Module for the RICE/DICE Model".
- N°22: MILCHTAICH, Igal, 1999, "How Does Selfishness Affect Welfare?" (Also available as CORE Discussion Paper n° 9954)
- N°23: BOUCQUEY, N., 1999, "L'Organisation d'un Marché de Permis Négociables: Notions Pertinentes en Droit Privé" (version provisoire – draft).
- N°24: GERMAIN, M., LOVO, S. et VAN STEENBERGHE, V., 2000, "De l'Importance de la Microstructure d'un Marché de Permis de polluer".
- N°25: BERNHEIM, Th. and GOUZEE, N., 1999, "A Sustainable Development Approach to Climate Change: Why and How?"
- N°26: GERMAIN, M., TOINT Ph. et TULKENS H., 1999, "Transferts Financiers et Optimum Coopératif International en Matière de Pollutions-Stocks", publié dans *L'Actualité Economique. Revue d'Analyse Economique*, 75 (1-2-3), 427-446, 1999. (Version en langue française du CLIMNEG WP N° 1.)
- N°27: RAY, I., 2000, "Game Theory and the Environment: Old Models, New Solution Concepts".
- N°28: BERNHEIM, Th., 2000, "Voortgang in de Internationale Samenwerking voor de Beheersing van de Klimaatproblematiek. Een Stand van Zaken." (Pedagogisch Fiche n° 1)
- N°29: BERNHEIM, Th., 2000, "Verhandelbare Emissierechten en Geografische Flexibiliteit voor Reducties in Broeikasgassen: De Kyoto-Mechanismen." (Pedagogisch Fiche n° 2)
- N°30: BERNHEIM, Th., 2000, "De Inzet van Fiscale Instrumenten in het Klimaatbeleid: Theoretische Concepten en Praktische Uitvoering." (Pedagogisch Fiche n° 3)
- N°31: BERNHEIM, Th., 2000, "Het Gebruik van Regulerende Instrumenten in het Nationale en het Internationale Klimaatbeleid." (Pedagogisch Fiche n° 4)
- N°32: EYCKMANS, J. and BERTRAND, C., 2000, "Integrated Assessment of Carbon and Sulphur Emissions, Simulations with the CLIMNEG Model." (Also available as *ETE Working Paper* n° 2000-08, Centrum voor Economische Studiën, Katholieke Universiteit Leuven, 2000)
- N°33: EYCKMANS, J. and CORNILLIE, J., 2000, "Efficiency and Equity in the EU Burden Sharing Agreement." (Also available as *ETE Working Paper* n° 2000-02, Centrum voor Economische Studiën, Katholieke Universiteit Leuven, 2000)
- N°34: BOUCQUEY, N., 2000, "L'Organisation du Marché des Permis Négociables. L'Emergence de Marchés et les Problèmes de Concurrence."
- N°35: DELCOURT, R., 2000, "L'Organisation du Marché des Permis Négociables. Développement des Aspects de Droit Bancaire et Financier pour le Permis Négociable."
- N°36: VAN YPERSELE, J.-P., 1999, "Modélisation des Changements Climatiques Futurs au Carrefour d'une Recherche Fondamentale en Environnement et d'une Recherche Socio-Economique en Appui à la Décision", publié dans les Actes du Symposium "A la Recherche d'un Dialogue Durable entre Science et Politique" des 24 et 25 novembre 1999, Services Fédéraux des Affaires Scientifiques, Techniques et Culturelles (SSTC), Bruxelles.
- N°37: BERNHEIM, Th., 2001, "Vrijwillige Overeenkomsten als Instrument in het Klimaatbeleid, Mogelijkheden en Beperkingen." (Pedagogisch Fiche n° 5)
- N°38: BERNHEIM, Th., 2000, "Communicatieve Instrumenten in het Nationale en Internationale Klimaatbeleid, Uitvoering aan de Hand van de Overdracht van Technologie en Capaciteitsopbouw." (Pedagogisch Fiche n° 6)
- N°39: GERMAIN, M. and VAN STEENBERGHE, V., 2001, "Constraining Equitable Allocations of Tradable Greenhouse Gases Emission Quotas by Acceptability."
- N°40: EYCKMANS, J., 2001, "On the Farsighted Stability of the Kyoto Protocol".
- N°41: PROOST, St. and VAN REGEMORTER D., 2000, "How to achieve the Kyoto Target in Belgium – Modelling Methodology and Some Results".
- N°42: CHANDER, P. and TULKENS, H., 2001, "Limits to Climate Change", paper presented at the Sixth CORE – FEEM - GREQAM – CODE Coalition Formation Workshop held at Louvain-la-Neuve, January 26-27, 2001.
- N°43: GERMAIN, M. and VAN STEENBERGHE, V., 2001, "Optimal Policy with Tradable and Bankable Pollution Permits: Taking the Market Microstructure into Account".
- N°44: GERMAIN, M., TULKENS H., TULKENS Ph. and VAN YPERSELE, J.-P., 2001, "Side Payments to Ensure International Cooperation in a Regionalised Integrated Assessment Model of Climate Change" (forthcoming).
- N°45: VAN IERLAND, W., 2001, "Insights in the Economics of Climate Change and its Solution" (forthcoming).
- N°46: VAN IERLAND, W., 2001, "Emissiehandel Binnen het Belgische Klimaatbeleid: een Analyse van de Mogelijkheden en de Beperkingen" (forthcoming).
- N°47: BERNHEIM, Th., 2001, "Coopération Internationale et Instruments pour la Prise de Décision dans le Cadre de la Politique Climatique", version française des "fiches pédagogiques" contenues dans les CLIMNEG-CLIMBEL Working Papers nos 28, 29, 30, 31, 37 et 38, publié dans *Planing Papers* N° 89, Bureau Fédéral du Plan, Bruxelles, août 2001.

### III

## Changements climatiques, négociations internationales et stratégies de la Belgique (Réseau CLIMNEG)

# Rapport final 2001

### Introduction et plan

Conçu en juillet 1996, soit un an et demi avant la Conférence de Kyoto et le fameux Protocole par lequel celle-ci s'est conclue, le réseau CLIMNEG a développé ses travaux de décembre 1996 à mai 2001. Ceux-ci ont été structurés en quatre « projets » répartis et présentés ici comme suit :

- *Théorie économique* (CLIMNEG I) page 12  
Promoteur: Prof. Claude d'Aspremont,  
Center for Operations Research and Econometrics (CORE)  
Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve
  
- *Science du climat* (CLIMNEG II) page 21  
Promoteur: Prof. J.P. van Ypersele  
Institut d'Astronomie de Géophysique Georges Lemaître, (ASTR)  
Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve
  
- *Modélisation* (CLIMNEG III) page 29  
Promoteur: Prof. Stef Proost  
Centrum voor Economische Studiën (CES)  
Katholieke Universiteit Leuven, à Leuven
  
- *Mise en œuvre des traités* (CLIMNEG IV) page 39  
Promoteur: Prof. H. Tulkens  
sous-traitance: Mme N. Gouzée  
Task Force Développement Durable — Task Force Duurzame Ontwikkeling  
(TFDD–TFDO), Bureau fédéral du Plan à Bruxelles

Bien que le présent rapport reprenne cette structure, dans laquelle chacun des projets est mis sous la responsabilité formelle d'un promoteur et d'un centre de recherches différent, il faut mentionner dès l'abord que les interactions et rencontres entre les chercheurs ont été si nombreuses, au cours de ces 4 1/2 années, qu'il faut considérer l'ensemble des travaux dont il est rendu compte ici comme une œuvre commune de tous les membres de l'équipe.

C'est pourquoi tous les documents de travail produits dans le cadre de ce programme sont rassemblés en une seule série. Ils sont désignés ci-après par **CWP 1, 2, 3,...** (pour "Climneg-Climbel Working Paper" n°1, 2, 3,...). La liste des documents de la série CLIMNEG-CLIMBEL figure à la fin de l'Executive Summary ci-dessus.

<p style="text-align: center;"><b>PROJET CLIMNEG I: Théorie économique (UCL-CORE)</b></p>
---

### *1. Objectifs*

Depuis de nombreuses années, les chercheurs de l'UCL-CORE ont acquis une expérience importante dans le domaine de la théorie économique des problèmes de fourniture de biens publics et de la théorie des jeux. En particulier, les travaux du Professeur Tulkens (en collaboration avec le Professeur Chander, voir notamment Chander et Tulkens (1992, 1995 et 1997)) ont servi de point de départ à la recherche sur l'acceptabilité individuelle et coalitionnelle de différents régimes de répartition des charges dans un modèle général d'externalités environnementales. Le principal apport de ces travaux à la littérature économique environnementale consiste en une modélisation cohérente de la coopération complète par rapport à la coopération partielle sur les problèmes des changements climatiques (accords comprenant tous les pays concernés ou seulement des sous-groupes (coalitions) de ces pays) en faisant appel à des concepts théorique d'équilibre dans les jeux coopératifs et non coopératifs.

Sur la base d'un modèle économique-climatique stylisé (liant l'activité économique aux émissions de GES et aux changements climatiques), les trois principaux objectifs du projet CLIMNEG I étaient les suivants:

- (i) caractériser les politiques de réduction des gaz à effet de serre dans le monde, en Europe et en Belgique suivant trois critères: l'optimalité économique, l'équité et la stabilité stratégique,
- (ii) analyser les différentes manières de répartir la charge de ces politiques, et
- (iii) examiner la possibilité que des activités soient mises en œuvre conjointement par différents groupes de pays.

## 2. Méthodologie et résultats

### 2.1. Introduction des équilibres économiques nationaux ainsi que des flux commerciaux internationaux d'équilibre

- Transferts irrévocables

Le premier objectif important du projet était la conception d'un modèle d'Evaluation Intégrée (EI) destiné à compléter les modèles de base déjà développés (ou en cours de développement à cette époque) par les équipes Chander et Tulkens (1995, 1997), Germain, Toint et Tulkens (**CWP 1**), Germain, Tulkens et de Zeeuw (**CWP 2**), et Germain, Toint, Tulkens et de Zeeuw (**CWP 6**). Un modèle EI comprend deux parties essentielles: une composante économique et une composante climatique. Il est dès lors conçu pour analyser les changements climatiques d'un point de vue socioéconomique. A ce propos, quelques modèles alternatifs ont fait l'objet d'un examen détaillé, sur la base d'études comparatives menées par Cline (1992) et Dowlatabadi (1995). Nous avons décidé d'utiliser différentes versions du modèle RICE mis au point par Nordhaus et ses collègues: Nordhaus (1994), Nordhaus et Yang (1996), Nordhaus et Boyer (1999, 2000). Ces modèles constituaient de bons compromis entre nos modèles de base et des modèles plus complexes comme, par exemple, IMAGE (Alcamo, 1994)<sup>1</sup>.

Le premier modèle de simulations numériques utilisé dans le cadre du projet CLIMNEG était une version à 6 régions du modèle RICE<sup>2</sup> de Nordhaus et Yang (1996). Les six régions étaient l'Europe, le Japon, les Etats-Unis, la Chine, l'ex-Union Soviétique et le Reste du monde (RDM). Ce modèle est appelé modèle CWS (CLIMNEG World Simulation) et a été développé conjointement par les équipes du CLIMNEG I et III en étroite collaboration avec l'équipe du CLIMNEG II. Ces simulations avaient pour but de tester la stabilité stratégique des politiques de réduction des GES. Quelle réduction globale de CO<sub>2</sub> est-il possible d'atteindre si, d'une part, la charge est répartie de manière à assurer un rapport coût/efficacité favorable et si, d'autre part, l'allocation des coûts est acceptable pour chaque pays impliqué? Par ailleurs, existe-t-il d'autres politiques de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> que certains pays ou sous-groupes (coalition) de pays

---

<sup>1</sup>Dans un premier temps, le modèle MERGE (Manne, Mendelsohn et Richels, 1995) a été considéré comme un candidat complémentaire possible en ce sens qu'il accordait une attention plus spécifique à la dimension énergétique. Mais, il a été finalement abandonné en raison de sa complexité et parce que la dimension énergétique pouvait être étudiée à l'aide du modèle GEM-World utilisé dans Climneg III.

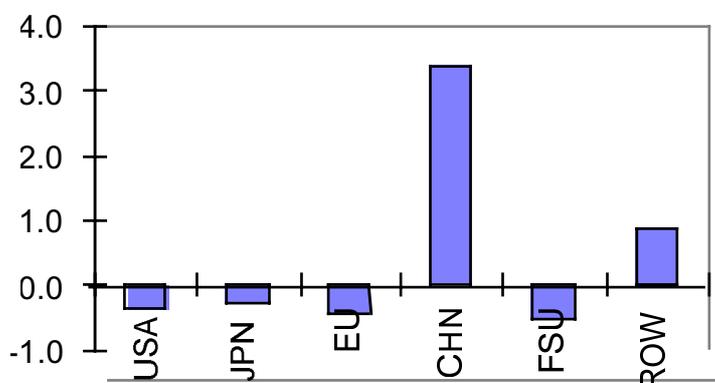
<sup>2</sup> RICE est l'abréviation de *Regional Integrated Model of Climate and the Economy* (Modèle régional intégré pour le climat et l'économie)

préféreraient mettre en œuvre par eux-mêmes? Ces questions ont été étudiées avec l'aide de la théorie des jeux coopératifs, un domaine dans lequel plusieurs membres du groupe CLIMNEG bénéficient d'une expérience bien éprouvée. Il s'agissait d'une approche originale par rapport à la littérature internationale qui est aujourd'hui, grâce au projet, de plus en plus reconnue (voir en annexe, les multiples articles présentés lors de congrès et de séminaires).

A l'aide du modèle CWS, Eyckmans et Tulkens (**CWP 18**) ont pu répondre aux questions suivantes:

- 1) Il existe réellement des politiques optimales de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> qui sont acceptables par tous les pays impliqués, à condition qu'elles s'accompagnent de transferts de ressources depuis les pays qui sont les bénéficiaires de la politique choisie vers les pays qui seraient pénalisés sans de tels transferts. Ces transferts sont présentés dans la figure suivante et révèlent qu'à la fois la Chine et le RDM doivent recevoir des compensations des régions industrialisées pour la stabilité de la coopération:

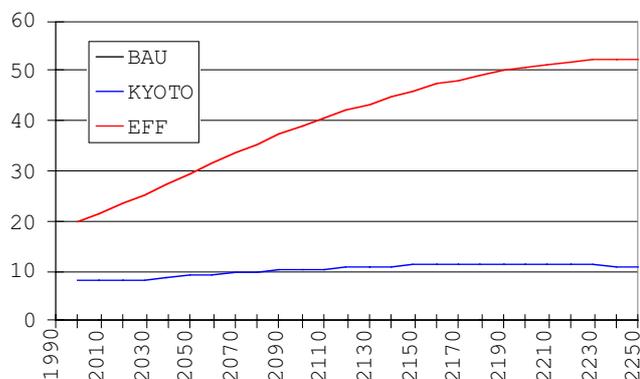
**Figure 1: Transferts totaux Chander-Tulkens**



- 2) La différence entre la politique optimale mondiale et des politiques nationales plus "égoïstes" (équilibre Nash non coopératif) n'est pas importante en termes de bien-être (mesuré en tant que flux de consommation future actualisée). En revanche, elle varie largement en termes d'émissions et de trajectoires des températures moyennes mondiales. Comme l'illustre la figure suivante, des taux de réduction très élevés sont nécessaires pour soutenir l'optimum coopératif (EFF). Le taux de contrôle global des GES passe de 20 à 50% dans le scénario EFF alors qu'il reste en permanence de

l'ordre de 10% dans le scénario non coopératif de KYOTO (dans lequel seul le sous-groupe des pays de Kyoto entreprennent des réductions d'émissions):

**Figure 2: Réduction globale des GES (% par rapport à BAU)**



- Transferts évoluant avec le temps

Dans l'étude d'Eyckmans et Tulkens, les transferts sont calculés comme des valeurs globales pour l'ensemble de la période de planification, c'est-à-dire un horizon prévisionnel de 300 ans afin de tenir compte de l'énorme inertie de la composante climatique du modèle. En d'autres termes, leur approche ne fournit aucune décomposition temporelle des transferts. Tout se passe comme si la politique mondiale optimale avait été décidée une fois pour toutes au début de la période de planification. Pour surmonter cette restriction, Germain et van Ypersele (**CWP 19**) ont développé (essentiellement sur la base de l'article théorique de Germain, Toint, Tulkens et de Zeeuw, **CWP 6**) une version simplifiée du modèle de Nordhaus et Yang, dans laquelle l'accumulation de capital est considérée comme exogène, mais avec une véritable structure dynamique. Dans ce cadre, on peut considérer que la politique mondiale optimale est négociée à chaque période, ce qui semble beaucoup plus réaliste. Les auteurs ont calculé, à chaque période, les transferts nécessaires pour soutenir la politique optimale. Dans le cadre d'un marché des permis de polluer, ces transferts prennent la forme d'une allocation initiale de permis. Dans l'ensemble, l'origine (USA, JPN, EU et FSU) et la destination (Chine et ROW) des transferts restent identiques à celle d'Eyckmans et Tulkens.

Comme cela a été mentionné précédemment, l'étude de Germain et van Ypersele repose sur un modèle simplifié où l'accumulation du capital n'est pas donnée. Dans la suite de l'étude, nous avons naturellement considéré l'endogénéisation des investissements comme une évolution intéressante. Vu la complexité de la tâche, nous nous sommes rapidement

aperçus que cette voie de recherche était hasardeuse car le temps était compté. Par conséquent, nous avons décidé de nous concentrer sur d'autres extensions des études précédentes, à savoir l'intégration d'une composante climatique régionalisée dans le modèle, une désagrégation plus affinée du monde (c'est-à-dire plus de pays) et la prise en compte des aérosols sulfatés.

La régionalisation du sous-modèle climatique ainsi que son extension afin de tenir compte de l'effet de refroidissement des composés de sulfate en particules, a été effectuée par CLIMNEG II (voir section suivante). Une première contribution de Eyckmans et Bertrand (**CWP 32**) intègre ce nouveau sous-modèle de climat dans la version à 6 pays du modèle RICE développé par Nordhaus et Yang (1996). Les simulations montrent que le nouveau module climatique modifie considérablement les résultats de Nordhaus et Yang étant donné que le modèle RICE sous-estime énormément les changements climatiques mondiaux et ne tient pas compte des différences climatiques régionales très sensibles.

La seconde extension consistait à augmenter le nombre de pays ou régions du monde. En réalité, on peut considérer que la subdivision en 6 régions mondiales prise en compte dans les travaux précédents, est trop grossière, notamment dans le cas du Reste du monde. Germain, Tulkens et van Ypersele (**CWP** à paraître) ont élaboré un modèle à 13 régions, intégrant une composante économique empruntée à une version récente du modèle RICE (Nordhaus et Boyer, 1999). Le module climatique régionalisé était le même que celui utilisé dans la contribution précédente d'Eyckmans et Bertrand, à ceci près qu'il ne tenait pas compte des sulfates. En le comparant avec le cadre d'Eyckmans et Tulkens, dans lequel le monde est divisé en 6 régions, l'on constate de fortes divergences entre les pays du Reste du monde lorsqu'il s'agit de l'intérêt de coopérer (en particulier, entre l'Inde et les pays de l'OPEP à hauts revenus). L'article avait également pour objet de comparer l'influence de la régionalisation et de la non régionalisation des températures atmosphériques, sur les résultats. Il apparaît que lorsque la température est régionalisée, la réduction des émissions est plus élevée et la température moyenne est plus basse. En termes de transferts et de bien-être, le tableau d'ensemble est similaire dans les deux situations, même si certains pays présentent des différences significatives.

Comme dans les travaux d'Eyckmans et Tulkens (**CWP 18**) et Germain et van Ypersele (**CWP 19**), et sur la base des travaux théoriques de Chander et Tulkens (1995, 1997), nous avons vérifié numériquement que le mécanisme des transferts produisait une allocation qui appartient au noyau du jeu de réduction des émissions de dioxyde de

carbone. Autrement dit, nous avons vérifié que l'optimum de coopération internationale avec transferts était rationnel dans le sens des coalitions, c'est-à-dire que non seulement les régions prises individuellement mais également toutes les coalitions possibles de pays se trouvaient dans une situation plus favorable avec les transferts que sous l'équilibre de non-coopération.

### *2.2. La prise en compte de l'incertitude*

L'importance de cette dimension dans l'analyse des problèmes de changements climatiques est bien connue (incertitudes physiques, horizon prévisionnel très éloigné, etc.). A cet égard, un premier travail de d'Aspremont et Gérard-Varet (**CWP 15**) a étudié la manière d'exploiter les incertitudes physiques dans le contrôle du comportement des acteurs, par le biais des transferts financiers.

L'incertitude a également été prise en compte dans les travaux de Germain et van Ypersele (**CWP 19**) et ceux de Germain, Tulkens et van Ypersele (**CWP** à paraître), décrits précédemment. Vu l'incertitude qui entoure les formes fonctionnelles et les valeurs des paramètres des modèles, les auteurs ont procédé à une analyse de la sensibilité des résultats pour certains paramètres importants. Ainsi, l'analyse de Germain et van Ypersele (**CWP 19**) a montré qu'un donneur dans le scénario de référence pouvait devenir un receveur dans un autre contexte. Elle a également fait apparaître que les montants des transferts sont particulièrement sensibles au taux d'actualisation même si les receveurs restent les mêmes que dans le scénario de référence. En revanche, les résultats ne sont pas affectés par l'horizon prévisionnel.

### *2.3. Équité internationale et interrégionale*

En ce qui concerne l'équité internationale, et en collaboration avec le projet Climbel, plusieurs critères d'équité ont été étudiés par Germain et van Steenberghe (**CWP 39**), afin de les confronter aux critères de rationalité individuelle à l'aide d'un modèle dynamique construit de la même manière que celui de Germain et van Ypersele (**CWP 19**). Si les allocations basées sur les transferts de Eyckmans et Tulkens (**CWP 18**) sont, par définition, rationnelles sur le plan individuel, il apparaît que les allocations basées sur des règles courantes de répartition équitables de quotas ne sont jamais acceptables pour la totalité des pays. Par conséquent, les auteurs développent une méthode permettant de calculer les allocations des quotas qui respectent autant que possible un critère d'équité donné, tout en restant acceptables pour chaque pays, à chaque période. Les pays pour

lesquels une allocation basée sur la règle équitable de répartition est inacceptable, sont alors indemnisés pour qu'il n'y ait pas de différence entre la coopération et la non-coopération, alors que la "véritable" règle de répartition est appliquée entre les autres pays. Par exemple, dans le cas d'une règle d'allocation égalitaire limitée par la rationalité individuelle, l'on peut observer que la Chine et le Reste du monde sont les bénéficiaires de l'accord international, et que les Etats-Unis et l'ex-Union Soviétique sont alors indifférents par rapport à la situation de non-coopération.

L'équité intergénérationnelle a, quant à elle, donné lieu à quelques réflexions au cours du projet, qui ont conduit à une contribution à caractère général de d'Aspremont (**CWP 17**).

#### *2.4. Répartition des charges et instruments*

Concernant les problèmes de la répartition des charges et des instruments, le protocole de Kyoto autorise l'échange des permis de polluer et précise les quotas de réduction de plusieurs pays de l'Annexe B. Chander, Tulkens, van Ypersele et Willems (**CWP 12**) ont effectué une analyse de ce mécanisme flexible grâce à la théorie des marchés concurrentiels et celles des jeux coopératifs. Cette analyse a permis de tirer les trois conclusions suivantes:

- (i) les quotas définis dans le protocole de Kyoto vont dans le bon sens,
- (ii) le mécanisme d'échange des permis de polluer permet d'appliquer ces quotas de manière efficiente, et
- (iii) à l'avenir, les quotas et les permis de polluer négociables peuvent constituer conjointement, à condition qu'ils soient conçus de manière appropriée, un instrument permettant d'atteindre un optimum international caractérisé par des propriétés de stabilité stratégique.

La diffusion des résultats se fait principalement via le site Web des réseaux CLIMNEG et CLIMBEL (<http://www.climneg.core.ucl.ac.be>) et via la série de *Working Papers* (voir Annexe I). La participation des membres du réseau aux congrès et séminaires nationaux et internationaux sur les problèmes des changements climatiques, avec la présentation des articles du réseau CLIMNEG/CLIMBEL, a également contribué à la diffusion des résultats. Les membres de CLIMNEG I ont pris part à plusieurs reprises, en tant qu'experts invités, à des activités du Conseil Fédéral du Développement Durable, notamment de son Groupe de Travail "Energie et Climat", présidé par le Prof. van Ypersele (CLIMNEG II). Cela a permis de faire connaître les recherches du réseau CLIMNEG aux différents "acteurs" du développement durable en Belgique. Les contacts avec ces acteurs (industries, syndicats, administrations, ONG, etc.) ont contribué à une meilleure compréhension des divers problèmes et des points de vue existants par les chercheurs du réseau CLIMNEG.

## **Références pour CLIMNEG I**

- Alcamo, J. (ed.) (1994), *IMAGE 2.0 : integrated modeling of global climate change* (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht)
- Boyer, J. and Nordhaus, W.D. (1999), Requiem for Kyoto: an economic analysis of the Kyoto Protocol, in: *The costs of the Kyoto Protocol : a multi-model evaluation*, *The Energy Journal*, 131-156
- Boyer, J. and Nordhaus, W.D. (2000). *Warming the World. Economic Models of Global Warming* (MIT Press, Cambridge MA)
- Chander, P. and Tulkens, H. (1992), Theoretical foundations of negotiations and cost sharing in transfrontier pollution problems, *European Economic Review*, 36 (2/3), 288-299 (April)
- Chander, P. and Tulkens, H. (1995), A core-theoretic solution for the design of cooperative agreements on transfrontier pollution, *International Tax and Public Finance* **2**, 279-293
- Chander, P. and Tulkens, H. (1997), The core of an economy with multilateral environmental externalities, *International Journal of Game Theory* **26**, 379-401
- Cline, W. (1992), *The economics of global warming*, (Institute for International Economics, Washington)
- Dowlatabadi, H. (1995), Integrated assessment models of climate change: an incomplete overview, *Energy Policy* **23**(4/5), 289-296
- Manne, A., Mendelsohn, R. and Richels, R. (1995), MERGE : A model for evaluating regional and global effects of GHG reduction policies, *Energy Policy* **23**(1), 17-34
- Nordhaus, W.D., and Yang, Z. (1996), A regional dynamic general equilibrium model of alternative climate change strategies, *The American Economic Review* **86**, 741-756

<p style="text-align: center;"><b>PROJET CLIMNEG II: SCIENCES DU CLIMAT (UCL – ASTR)</b></p>
--

### *1. Objectifs*

Le modèle économique-climatique stylisé utilisé par l'équipe CLIMNEG I comprend une représentation simple du cycle du carbone et du système climatique. Le volet CLIMNEG II du projet vise à enrichir cette composante du modèle de base en développant des fonctions de transfert (c'est-à-dire des fonctions liant l'activité économique aux émissions de GES, aux concentrations atmosphériques des GES et, enfin, aux changements climatiques) qui reflètent l'état actuel des connaissances, afin d'évaluer les effets des différents scénarios d'émission étudiés dans la composante économique sur le climat global. A cet effet, l'équipe CLIMNEG II met à profit sa longue expérience en modélisation climatologique et la hiérarchie des modèles qu'elle a développés au cours des 20 dernières années: depuis les modèles simples, à moyennes mondiales et adimensionnels aux modèles tridimensionnels à circulation atmosphérique-océanique générale, entièrement couplés. Cette activité de modélisation "pure" du climat est intégrée dans des programmes de recherche internationaux, tels que WCRP et CLIVAR, et s'inscrit dans le cadre d'un autre réseau financé par les SSTC: CLIMOD (coordonné par le Prof. Th. Fichefet). Dans le projet actuel, la contribution de CLIMNEG II consiste à (i) développer une composante climatique simplifiée convenant pour le modèle économique-climatique en tenant compte du rôle spécifique des aérosols sulfatés, (ii) introduire les différences régionales dans le module climatique, (iii) évaluer l'incertitude de plusieurs aspects de la partie climatique du modèle, et (iv) rendre le module climatique plus adapté et accessible pour les décideurs.

### *2. Méthodologie et résultats*

La contribution de l'Institut d'Astronomie et de Géophysique G. Lemaître de l'Université catholique de Louvain (ASTR-UCL) au projet CLIMNEG est axée sur les aspects suivants:

*2.1. Conception d'une composante climatique perfectionnée mais simple pour le modèle climatique/économique développé en collaboration avec UCL-CORE et KULeuven-CES*

Un volet fondamental de tout modèle climato-économique est le sous-modèle climatique qui traduit les émissions des gaz à effet de serre (essentiellement le dioxyde de carbone ou CO<sub>2</sub>) ou d'autres polluants en la concentration atmosphérique de ces gaz, leur forçage radiatif et, enfin, les variations de température considérées ici comme l'indicateur climatique clé.

En l'occurrence, le point de départ a été une sous-composante climatique adimensionnelle de la contribution de Kverndokk (1994). Seul le CO<sub>2</sub> y est pris en compte. Le lien entre les émissions et la concentration de CO<sub>2</sub> y consiste en une équation linéaire de stock qui simplifie outre mesure le cycle du carbone. Le rapport entre la concentration de CO<sub>2</sub> et la température globale y est également paramétré suivant une formule très simple. Les paramètres utilisés sont adaptés à la production des modèles climatiques disponibles en 1992 et ne tiennent pas compte des progrès récents dans le domaine de la modélisation. En particulier, l'effet des aérosols n'est pas considéré.

Le travail réalisé dans le cadre du présent projet a visé, tout d'abord, à évaluer la validité de l'approche de Kverndokk en comparant les résultats de son cycle du carbone avec ceux d'un modèle de cycle du carbone approfondi (Joos et al., 1996). La comparaison a conduit à appliquer un nouveau modèle de cycle du carbone (un modèle à réponse impulsionnelle) qui assure de meilleures performances que le module original, tout en restant numériquement efficient. La partie climatique du modèle de Kverndokk a été validée sur la base des résultats d'un modèle climatique bidimensionnel (latitude – altitude) mis au point par ASTR-UCL (Gallée et al., 1991 et 1992; Tulkens Ph., 1998; Crucifix et al., 2000). Ce modèle climatique de complexité intermédiaire représente explicitement les processus fondamentaux de la circulation atmosphérique et océanique (y compris les glaces marines) et a démontré sa capacité à représenter de manière relativement réaliste le climat actuel et les modes d'évolution climatique des millénaires précédents. Le grand nombre d'études de sensibilité réalisées grâce à ce modèle climatique relativement plus complexe nous a permis d'améliorer le module climatique simplifié de manière significative. Le module climatique simple a ensuite été soumis à une série de scénarios considérés par le GIEC, jusqu'en 2100, et les résultats ont été analysés. Puis,

le couplage du modèle mis à jour avec la composante économique a été effectivement réalisé.

## *2.2. Introduction des affinements spatiaux et physiques dans le sous-modèle climatique*

La régionalisation des impacts climatiques est un des thèmes importants de cette recherche. Le modèle de Kverndokk (1994) associe les émissions de CO<sub>2</sub> à une seule variation globale des températures. Les améliorations en ce domaine ont été introduites en calculant, tout d'abord, la moyenne des variations de température de chaque région géographique considérée dans la sous-composante économique. Ces modifications permettent une meilleure désagrégation de la fonction de dommages. Pour éviter de devoir recourir à un modèle climatique tridimensionnel totalement interactif, nous avons utilisé les résultats de ces modèles (y compris ceux développés par UCL-ASTR dans le cadre du réseau CLIMOD, également financé par les SSTC, voir Fichet et al., 1999a et 1999b) pour obtenir des paramétrages en associant les variations globales de température dues aux émissions de gaz à effet de serre à des variations au niveau de la résolution spatiale utilisée par la sous-composante spatiale du modèle.

Les aérosols sulfatés constituent une des raisons principales de l'importance de la régionalisation des impacts dans les études économiques. C'est pourquoi leur rôle a fait l'objet d'une attention particulière. La plupart de ces aérosols proviennent des émissions de SO<sub>2</sub> dues à la combustion des carburants fossiles riches en soufre. Ils sont éliminés de l'atmosphère sous la forme de pluies acides et de retombées, mais atténuent une partie de l'effet de serre. Contrairement au CO<sub>2</sub>, qui a un effet de réchauffement global, leur effet de refroidissement est essentiellement local, car leur durée de vie est plus réduite que celle du CO<sub>2</sub>. Etant donné que les retombées acides ne sont pas souhaitables, des politiques destinées à réduire les émissions de soufre ont été mises en œuvre dans les pays en voie de développement au cours de la dernière décennie. Ces politiques font encore défaut dans certains pays en voie de développement, mais les effets de la pollution locale les forcera probablement à aller dans cette direction. Il est dès lors indispensable de réaliser une étude des changements simultanés du CO<sub>2</sub> et du SO<sub>2</sub>, comme le recommande le rapport du Groupe de Travail III du GIEC (1996, p. 384). Le traitement approprié des aérosols sulfatés dans le modèle climatique bidimensionnel (latitude-altitude) de l'UCL-ASTR a été abordé dans le travail du doctorant Cédric Bertrand (1998a; voir également Bertrand, 1998b, **CWP 7**, et Bertrand et van Ypersele, 1997).

Pour les simulations climato-économiques, il était nécessaire de représenter l'effet régional des aérosols. La première tentative était fondée sur les résultats du modèle bidimensionnel d'ASTR-UCL, qui comprend l'effet des aérosols. Des informations géographiques supplémentaires ont été tirées des simulations tridimensionnelles existantes effectuées à l'aide de modèles couplés de circulation atmosphérique-océanique générale, forcés à la fois par les gaz à effet de serre et les aérosols.

Grâce à ces améliorations du module climatique (régionalisation et traitement des aérosols sulfatés), les modèles climato-économiques couplés développés par CLIMNEG I et III ont une longueur d'avance sur les modèles existant dans la littérature. Les premières simulations utilisant ce module climatique amélioré sont décrites dans Eyckmans et Bertrand (**CWP 32**) et dans Germain, Tulkens, et van Ypersele (**CWP** à paraître).

### *2.3. Etude des effets de l'incertitude associée à plusieurs facteurs dans le sous-modèle climatique*

Il existe des incertitudes dans les rapports entre, d'une part, les futures émissions d'aérosols et de gaz à effet de serre et les concentrations et, d'autre part, entre les concentrations et l'état du climat. Les facteurs naturels (activité solaire, éruptions volcaniques) agissent également sur le climat, et il est important d'évaluer l'influence relative des facteurs naturels et humains. Des analyses de sensibilité approfondies ont été effectuées sur des données et des paramètres déterminants du modèle, afin de mieux appréhender la sensibilité du modèle climatique/économique à ces incertitudes. Ces analyses ont débouché sur deux publications: Bertrand, van Ypersele et Berger (1998), et Bertrand et van Ypersele (1999). Un troisième ouvrage (Bertrand et van Ypersele) verra le jour prochainement. Le Prof. Van Ypersele (2000a) a publié une réflexion sur les conséquences de l'incertitude dans l'application du principe de précaution.

D'autres incertitudes découlent de l'extension de la sensibilité des modèles climatiques aux variations des concentrations de CO<sub>2</sub>. En réalité, les modèles climatiques les plus avancés prévoient une augmentation globale de la température de 1,5 à 4,5 degrés Celsius si la concentration de CO<sub>2</sub> préindustriel venait à doubler. En utilisant des modèles de niveaux de complexité très différents, l'on pourrait également tester l'effet de la sensibilité du module climatique sur les simulations économique-climatiques effectuées. Ce point est abordé par Germain, Tulkens et van Ypersele (**CWP** à paraître).

#### *2.4. Transfert des informations les plus récentes sur la science des changements climatiques pour les besoins de la prise de décision*

A travers des réunions de coordination du CLIMNEG, des séminaires publics et notre participation aux recherches du Groupe de Travail "Energie et Climat" (présidé par J.P. van Ypersele, promoteur de CLIMNEG II) du Conseil Fédéral du Développement Durable (CFDD), nous avons pu mettre un maximum d'informations sur la climatologie à disposition d'autres membres du réseau CLIMNEG, de membres du CFDD (voir van Ypersele (1998) et les "Conseils" du FCSD sur le protocole de Kyoto (28 septembre 1998), la fiscalité de l'énergie et les mécanismes de flexibilité (19 octobre 1999) et le livre vert de la Commission sur l'échange des droits d'émission (à paraître), tous disponibles sur [www.belspo.be/frdocfdd](http://www.belspo.be/frdocfdd)), ainsi que de décideurs et leurs conseillers pour la préparation des stratégies et des politiques belges en matière de changements climatiques. La Commission des Affaires Sociales et de l'Environnement du Sénat et la Commission de l'Environnement du Parlement de la Région Bruxelles-Capitale ont invité J.P. van Ypersele à des débats sur la mise en œuvre du protocole de Kyoto. Les SSTC l'ont désigné comme un de leurs délégués aux séances de l'Organe Subsidaire Consultatif Scientifique et Technologique (SBSTA) et de la Conférence des Parties (CoP) de la Convention-Cadre sur les Changements Climatiques. Cela nous a permis d'établir un lien étroit avec le processus de négociation qui ouvre la voie au protocole de Kyoto et à sa mise en œuvre. La désignation de J.P. van Ypersele comme auteur principal d'un des chapitres du prochain rapport de l'IPCC (voir van Ypersele, 2001) nous a également donné la possibilité de partager les enseignements tirés du projet CLIMNEG avec la communauté internationale. Un article sur les défis de l'interdisciplinarité et l'interface science-politique (van Ypersele, 2000e) a été publié. Plusieurs articles de vulgarisation sur les problèmes climatiques et les questions qui y sont liées (voir van Ypersele, 2000b, 2000c et 2000d) ont également vu le jour. Nous avons participé à de nombreuses conférences sur le sujet devant des publics diversifiés (25 exposés entre octobre 1999 et octobre 2000). Enfin, de nombreuses interviews ont paru dans la presse écrite et audiovisuelle.

## Références pour CLIMNEG II

- ALCAMO, J. (ed.), 1994, IMAGE 2.0 - Integrated Modeling of Global Climate Change, Kluwer Academic Publishers, 321 p.
- BERGER A., J.M. CAMPIN, E. DELEERSNIJDER, M. EL MOHAJIR, T. FICHEFET, H. GOOSSE, H. GRENIER, M.A. MORALES MAQUEDA, P.P. MATHIEU, C. PONCIN, and J.P. van YPERSELE, 1999 : Modelling the climate system and its response to human activities. Dans *Belgian Impulse Programme Global Change*, Services Fédéraux des Affaires Techniques, Scientifiques et Culturelles, Bruxelles, sous presse.
- BERTRAND C., 1998a. Climate simulation at the secular time scale. Thèse de doctorat en Sciences Naturelles Appliquées, Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, 208pp.
- BERTRAND C. and J.P. van YPERSELE, 1997. Effects of relative humidity and temperature on sulphate aerosol optical properties. *Contributions to Atmospheric Physics/Beitraege zur Physik der Atmosphaere*, 70(3), pp. 233-243.
- BERTRAND C. and J.P. van YPERSELE, 1999. Potential role of solar variability as an agent for climate change. *Climatic Change*, 43, pp. 387-411.
- BERTRAND C., van YPERSELE J.P. and A. BERGER, 1999. Volcanic and solar impacts on climate since 1700. *Climate Dynamics*, 15(5), pp. 355-367.
- CRUCIFIX M., PH. TULKENS, M.F. LOUTRE, and A. BERGER, 2000. A reference simulation for the present-day climate with a non-flux corrected global atmosphere-ocean-sea ice model of intermediate complexity. (UCL-ASTR, Progress Report 2000/01)
- FICHEFET T., E. DELEERSNIJDER, A. de MONTETY, H. GOOSSE, P.P. MATHIEU, C. PONCIN, P. HUYBRECHTS, J.P. van YPERSELE, H. GALLEE, F. LEFEBRE, P. MARBAIX, C. TRICOT, J.Y. DOULLIEZ, and R. SMETS, 1999a : Modelling the climate system and its evolution at the global and regional scales (CLIMOD). Dans *Global Change and Sustainable Development, Part 1: Reducing Uncertainties, Integrated Scientific Reports 1, 1 December 1996 — 31 December 1997, Federal Office for Scientific, Technical and Cultural Affairs*, Brussels, pp. IW 1—17.

- FICHEFET T., E. DELEERSNIJDER, J.M. CAMPIN, A. CHEYMOL, A. de MONTETY, H. GOOSSE, C. PONCIN, B. TARTINVILLE, P. HUYBRECHTS, J.P. van YPERSELE, H. GALLEE, F. LEFEBRE, P. MARBAIX, C. TRICOT, M. VANDIEPENBEECK, and R. SMETS, 1999b : Modelling the climate system and its evolution at the global and regional scales (CLIMOD). Dans *Global Change and Sustainable Development, Part 1: Reducing Uncertainties, Integrated Scientific Reports 2, 1 December 1997—31 December 1998, Federal Office for Scientific, Technical and Cultural Affairs, Brussels*, pp. IW 1—19.
- GALLÉE, H., J.P. van YPERSELE, TH. FICHEFET, CH. TRICOT, A.BERGER, 1991. Simulation of the last glacial cycle by acoupled sectorially, averaged climate-ice-sheet model. I. The Climate Model. *J. Geophys. Res.*, 96, pp. 13,139-13,161.
- GALLÉE, H., J.P. van YPERSELE, TH. FICHEFET, I. MARSAT, CH.TRICOT, AND A. BERGER, 1992. Simulation of the last glacial cycle by a coupled, sectorially averaged climate - ice-sheet model. II. Response to insolation and CO<sub>2</sub> variation. *J.Geophys. Res.*, 97 no D14, pp. 15,713-15,740.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 1996,Climate Change 1995 - Economic and Social Dimensions ofClimate Change, Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel onClimate Change, edited by J.P. Bruce, H. Lee and E.F. Haites,Cambridge University Press, 448 p.
- JOOS, F., M. BRUNO, R. FINK, U. SIEGENTHALER, T. STOCKER, C. LE QUÉRÉ AND J. SARMIENTO, 1996, An efficient and accurate representation of complex oceanic and biospheric models of anthropogenic carbon uptake. *Tellus*, 48B:397-417.
- KVERNDOKK, S., 1994, Coalitions and side Payments inInternational CO<sub>2</sub> treaties, in Van Ierland (ed) “InternationalEnvironmental Economics, Theories, Models and Applications to Climate Change, International Trade and Acidification”, Developments in environmental economics, Vol 4, Elsevier,Amsterdam, pp. 45-74.
- TULKENS Ph., 1998. A zonally averaged model of the coupled atmosphere-ocean-sea ice system for climate studies, Faculté des Sciences, Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, 162pp (Doctorate Thesis).

- SCHNEIDER S., SARUKHAN J., ADEJUWON J., AZAR Ch., BAETHGEN W., HOPE Ch., MOSS R., RICHELIS R., van YPERSELE J.P., 2001. Overview of Impacts, Adaptation, and Vulnerability to Climate Change. Chapter 1 of Working Group II Contribution to the IPCC Third Assessment Report, due to be published in May 2001.
- van YPERSELE J.P., 1999. L'effet de serre et le climat belge au 21<sup>ème</sup> siècle. Le Fruit belge, n° 482, pp. 166-169.
- van YPERSELE J.P., 2000a. Effet de serre et précaution : enjeux et réponses. In : « Le principe de précaution : significations et conséquences », Edité par Edwin Zaccàï et Jean-Noel Missa. Collection « Aménagement du territoire et environnement », dirigée par Christian Vandermotten, Editions de l'Université de Bruxelles (in press).
- van YPERSELE J.P., 2000b. Réchauffement de la planète, la Belgique sera-t-elle sous eau ? Article invité pour le site web (<http://www.billy-globe.org>) du réseau IDEE, mars 2000.
- van YPERSELE J.P., 2000c. Les tempêtes en France : un avant-goût du climat au 21<sup>ème</sup> siècle ? Article invité pour « Le Canard déchaîné du Kauwberg », Ligue des Amis du Kauwberg, mars 2000.
- van YPERSELE J.P., 2000d. Impact of anthropogenic global warming on human activities. In: Proceedings of the Symposium « Developing Countries Facing Global Warming : Kyoto 1997 and Beyond », (Brussels, 29 November 1999), Académie royale des sciences d'outre-mer, (M. De Dapper, éd.), Bruxelles, pp. 45-54.
- van YPERSELE J.P., 2000e. Modélisation des changements climatiques futurs: au carrefour d'une recherche fondamentale en environnement et d'une recherche socio-économique en appui à la décision. In: "Développement durable. A la recherche d'un dialogue durable entre science et politique", Actes du symposium, SSTC (ed. par), Bruxelles, 2000, 180pp (à paraître).

<p style="text-align: center;"><b>PROJET CLIMNEG III: Modélisation économique (KULeuven-CES-ETE)</b></p>
--

### *1. Objectifs*

Le troisième objectif de la proposition de recherche CLIMNEG était de simuler numériquement les effets économiques et climatiques des politiques de réduction des émissions de GES dégagés par l'équipe CLIMNEG I sur l'équilibre économique tant national qu'international. Le modèle économique-climatique utilisé initialement par l'équipe CLIMNEG I comprenait également une représentation stylisée des rapports économiques et physiques complexes entre les consommateurs, les firmes et les gouvernements. Le projet CLIMNEG III avait pour but de créer des modèles de simulation plus détaillés pour ces interactions à différents niveaux.

L'équipe du projet CLIMNEG III a opté pour une approche de modélisation multiniveaux plutôt que de construire un super-modèle.

Premièrement, au niveau mondial, l'équipe CLIMNEG III a contribué au développement et à la mise en œuvre du modèle économique-climatique CWS (CLIMNEG World Simulation).

Ensuite, afin d'analyser la politique climatique au niveau mondial et européen, l'équipe CLIMNEG III a contribué au développement du modèle d'équilibre général appliqué GEM-E3 (Monde), cofinancé par un projet de recherche de l'UE.

Enfin, au niveau belge, CLIMNEG III a eu recours au modèle MARKAL du secteur de l'énergie belge afin de calculer les courbes du coût marginal de réduction pour la réduction des émissions de GES au niveau national. En outre, les conséquences macroéconomiques d'une taxe sur les hydrocarbures en Belgique ont été évaluées à l'aide du modèle GEM-E3 (Europe), travaux réalisés en parallèle à ceux du projet de recherche CLIMBEL.

## 2. Méthodologie et résultats

### 2.1. Niveau mondial: le modèle CWS

- Méthodologie du modèle d'évaluation intégrée CWS

Suite à la proposition de recherche initiale, nous avons procédé à un examen de la littérature sur les modèles d'Evaluation Intégrée (disponibles à cette époque, à savoir en 1997-1998). Vu la nécessité de simuler des solutions théoriques de jeux (Nash et les équilibres coopératifs) pour tester la stabilité stratégique des différentes politiques de réduction des émissions de GES, nous avons décidé d'utiliser un modèle économique relativement simple basé sur le modèle RICE de Nordhaus et Yang (1996). Ce choix a été guidé par le fait que le calcul de solutions non coopératives passe par l'utilisation d'algorithmes d'approximation numériques extrêmement longs.

Le modèle de simulation mondial à 6 régions (dénommé ci-après "modèle CWS" – **CLIMNEG World Simulations** et décrit en détail dans Eyckmans et Tulkens (**CWP 18**)), développé conjointement par les équipes CLIMNEG I, II et III, est un véritable modèle économique-climatique d'évaluation intégrée. La partie économique est composée d'un modèle de croissance dynamique de type Ramsey avec anticipations parfaites des investissements endogènes, une option de réduction des émissions de GES et des dommages dus aux changements climatiques. A chaque période, le produit domestique brut  $Y_{i,t}$  d'une région peut être décomposé selon les composants suivants: consommation ( $Z_{i,t}$ ), investissements ( $I_{i,t}$ ), coût de la réduction des émissions de GES ( $C_{i,t}$ ) et dommages dus aux changements climatiques ( $D_{i,t}$ ):

$$Y_{i,t} = Z_{i,t} + I_{i,t} + C_{i,t} + D_{i,t}$$

La production est fonction du stock de capital (endogène) et tient compte, de manière exogène, du progrès technique et du facteur travail ( $Y_{i,t} = A_{i,t} f_{i,t}(K_{i,t})$ ). Le progrès technique exogène et la croissance démographique sont compris dans la composante  $A_{i,t}$ . Le stock de capital est déterminé par une équation d'accumulation de capital standard:

$$K_{i,t+1} = (1 - \delta_K) K_{i,t} + I_{i,t}$$

où  $\delta_K$  représente le taux de dépréciation du capital.

Le caractère "Evaluation Intégrée" du modèle est reflété dans les composantes du coût et des dommages. Les émissions  $E_{i,t}$  de GES sont considérées comme proportionnelles à la production (le facteur de proportionnalité  $\sigma_{i,t}$  diminuant cependant de manière exogène

avec le temps en raison de l'"Autonomous Energy Efficiency Improvement" (AEEI – amélioration autonome de l'efficacité de l'énergie)) mais peuvent être réduites au taux

$$0 \leq \mu_{i,t} \leq 1:$$

$$E_{i,t} = \sigma_{i,t}(1 - \mu_{i,t})Y_{i,t}$$

La réduction des émissions s'avère toutefois coûteuse  $C_{i,t} = C_i(\mu_{i,t})$  et diminue les possibilités de consommation. Les émissions de l'ensemble des régions  $E_{N,t} = \sum_{i \in N} E_{i,t}$  s'ajoutent à la concentration atmosphérique globale des GES  $M_t$  qui entraîne, en définitive, une variation de température  $\Delta T_{i,t} = G(M_t)$ . Le processus d'accumulation des émissions de GES dépend, en règle générale, des émissions passées:

$$M_t = v(E_{N,1}, E_{N,2}, \dots, E_{N,t})$$

La boucle est ainsi bouclée: la consommation endogène, les investissements et les décisions de réduction des émissions influencent les émissions de GES qui agissent, à leur tour, sur les concentrations globales de GES et les changements climatiques. Les dommages dus aux changements climatiques ont un effet rétroactif sur les problèmes de prise de décision d'une région, à travers la fonction de dommages  $D_{i,t} = D_i(\Delta T_{i,t})$ . La modélisation explicite du mécanisme de rétroaction climatique distingue les modèles d'Evaluation Intégrée des modèles de simulation économique standard.

Les paramètres de base des émissions, du PIB, de la population, des changements technologiques, du coût de la réduction des émissions et des dommages dus aux variations de température ont été empruntés à Nordhaus and Yang (1996) et quelque peu adaptés à nos besoins. Les adaptations les plus importantes concernent l'absence d'échanges mondiaux, l'adoption d'un taux d'actualisation inférieur, la révision à la hausse de l'exposant de la fonction des dommages dus aux changements climatiques et la révision à la baisse du taux de croissance de l'ex-Union Soviétique. Une description détaillée des paramètres du modèle et des différences par rapport au modèle RICE de Nordhaus figure dans Eyckmans et Tulkens (**CWP 18**). Différentes versions du modèle mondial CWS sont maintenant disponibles dans le logiciel d'optimisation numérique GAMS<sup>3</sup>.

Le modèle CWS est flexible en ce sens qu'il permet d'associer différents modules de cycle du carbone/climat (les processus représentés par les fonctions  $G$  et  $v$  ci-dessus) au

---

<sup>3</sup> GAMS (General Algebraic Modelling System) est un logiciel d'optimisation non-linéaire largement utilisé dans les modèles d'équilibre économique. Pour tout complément d'information, voir <http://www.gams.com>.

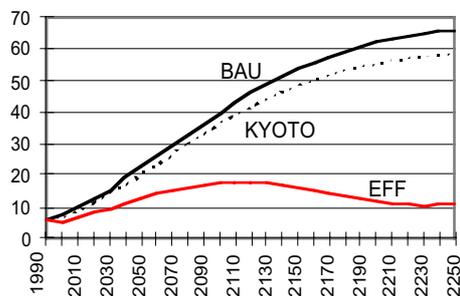
modèle économique afin de traduire l'impact des trajectoires des émissions endogènes sur la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère et sur les variations de températures. Nous sommes partis du module de cycle du carbone/climat de Nordhaus et Yang (1996), mais les membres de CLIMNEG II se sont vite rendu compte qu'il s'agissait d'une représentation trop grossière des phénomènes atmosphériques et climatiques physiques complexes qui entraînent des changements climatiques. CLIMNEG II a dès lors développé un modèle de cycle du carbone alternatif (modèle à réponse impulsionnelle) plus performant que le modèle original jusqu'à un doublement de la concentration atmosphérique de dioxyde de carbone. CLIMNEG II a également élaboré un module de variation de température régionalisé destiné à traduire les variations globales de température en variations de température régionalement différenciées. C'est une nouveauté dans la littérature sur l'Évaluation Intégrée: très peu de modèles à EI disposent d'un module climatique régionalisé.

En outre, le module climatique tient également compte des émissions de particules de soufre. Il existe aujourd'hui une version du modèle CWS (voir Eyckmans et Bertrand (**CWP 32**)) qui permet d'opérer une sélection endogène non seulement du CO<sub>2</sub> mais également des trajectoires des émissions de soufre. Ce modèle tient compte de l'effet des émissions de soufre sur le problème des changements climatiques globaux (les particules de soufre ont un effet de refroidissement régional) et du problème de l'acidification locale. Les coûts additionnels de réduction des émissions de soufre et les estimations des dommages externes dus aux émissions de soufre ont ainsi été inclus dans le modèle CWS). La combinaison et l'effet réciproque des problèmes de pollution locale et globale occasionnés par les processus d'émission corrélés constituent un sujet brûlant dans la littérature de l'économie de l'environnement.

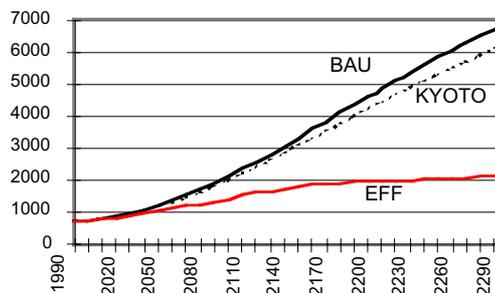
- Résultats

Voici quelques caractéristiques essentielles d'une simulation standard effectuée à l'aide du modèle CWS. Les graphiques suivants représentent les émissions, la concentration de dioxyde de carbone, les variations de température et le profil d'évolution de la consommation dans trois scénarios: BAU (Business-As-Usual: pas de politique de réduction des émissions de GES), KYOTO (seuls les pays du sous-groupe de Kyoto entreprennent des réductions d'émissions afin de maximiser les possibilités de consommation futures du groupe) et EFF (EFFiciency: chaque pays entreprend de réduire ses émissions afin de maximiser ses possibilités de consommation future mondiale totale).

**Figure 1: Emissions de dioxyde de carbone (gtC)**

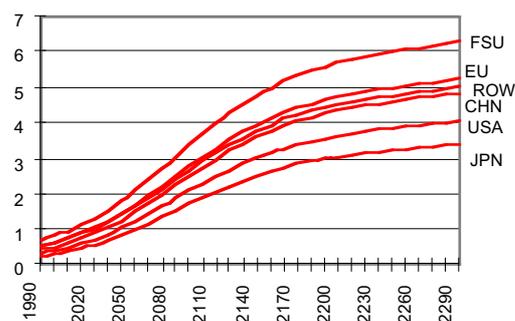


**Figure 2: Concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone (gtC)**

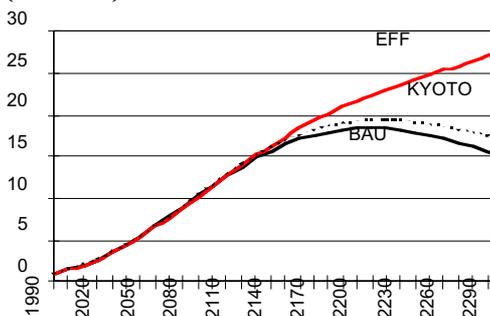


La Figure 1 montre les trajectoires des émissions de dioxyde de carbone et la Figure 2 présente les trajectoires des concentrations globales de dioxyde de carbone correspondantes dans trois scénarios différents. Les simulations montrent clairement la nature non durable à la fois du scénario BAU et du scénario de KYOTO car les émissions et la concentration de dioxyde de carbone continuent à augmenter sans contrôle. Le scénario EFF est le seul à conduire à une stabilisation approximative des concentrations de GES (à 2000 gtC) mais exige un effort énorme de réduction des émissions.

**Figure 3: Scénario EFF des variations de température (°C)**



**Figure 4: Consommation mondiale (1990=1)**



Le Figure 3 présente les modèles régionaux de variations de température pour le scénario EFF. En général, l'ex-Union Soviétique et l'UE enregistrent des variations de température plus importantes que les Etats-Unis et le Japon. Dans l'ensemble, la température continue à augmenter dans le scénario EFF malgré la stabilisation des concentrations des GES. Il faudra attendre encore plus longtemps (plusieurs siècles) pour que la stabilisation de la concentration de dioxyde de carbone conduise à une stabilisation des températures à cause de l'inertie et des lenteurs du système climatique.

Enfin, la Figure 4 présente les modèles de consommation des trois scénarios différents. Une fois encore, le caractère non durable des scénarios BAU et KYOTO est frappant. Dès 2200, les possibilités de consommation chutent en raison des dommages croissants dus aux changements climatiques. Le scénario EFF est le seul capable de prévenir cette baisse de la consommation à long terme.

Les résultats de l'analyse avec le modèle CWS qui intègre les changements climatiques et l'acidification, montrent que le problème local de l'acidification est le motif principal des politiques de réduction des émissions de soufre relativement élevées, au cours des prochaines décennies. Néanmoins, à partir de 2100, le problème des changements climatiques devient tellement grave que la réduction des hautes émissions de soufre n'est plus rationnelle. Les résultats de cette analyse sont mentionnés par Eyckmans et Bertrand (**CWP 32**).

Enfin, l'équipe CLIMNEG III a également participé à l'étude de stabilité de la coopération en menant des recherches sur la stabilité stratégique de la coalition de Kyoto à l'aide du modèle CWS. Cette analyse est plutôt descriptive que normative; elle considère la composition de la coalition de Kyoto comme déterminée et étudie si certains de ses membres sont susceptibles de jouer cavalier seul. L'analyse utilise de récents résultats de la théorie des jeux (théorie de la formation endogène des coalitions). Les principaux résultats (voir Eyckmans, **CWP 40**) sont les suivants:

- La coalition de Kyoto est extrêmement stable au niveau interne (suivant le concept de stabilité du cartel de d'Aspremont et al. 1983) car les Etats-Unis, le Japon et l'ex-Union Soviétique peuvent gagner, individuellement, en quittant la coalition.
- Toutefois, les déviations individuelles sont souvent énormes parce qu'ils occasionnent d'autres sous-déviations chez d'autres acteurs. En utilisant un concept de stabilité de la coalition "farsighted" (Chwe (1993)), l'on observe que seule l'ex-Union Soviétique peut menacer – de manière crédible – de s'écarter de la coalition de Kyoto.
- Sur la base des observations précédentes, nous pensons que l'"air chaud" qui a été alloué à l'ex-Union Soviétique doit être interprété comme un transfert destinée à la convaincre de rester dans le protocole et à stabiliser la coopération.

## 2.2. Niveau mondial et européen: Modèle GEM-E3

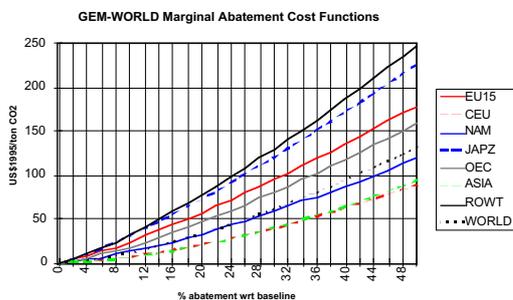
- Méthodologie

GEM-E3 est un modèle de simulation d'équilibre général centré sur le moyen terme. Il est spécialement conçu pour évaluer l'impact des différentes politiques européennes ou mondiales sur le bien-être de chaque Etat membre de l'UE. Sa création a débuté dans le cadre du projet de recherche "Joule" de l'UE mené par différentes universités européennes. La version européenne du GEM couvre chaque pays de l'UE séparément, alors que la version mondiale couvre de 6 à 8 régions du monde (agrégation flexible). Dans le cadre du présent projet, la version mondiale du GEM-E3 a été développée et un scénario de base a été mis sur pied pour être utilisé dans les différentes études qui utilisent ce modèle.

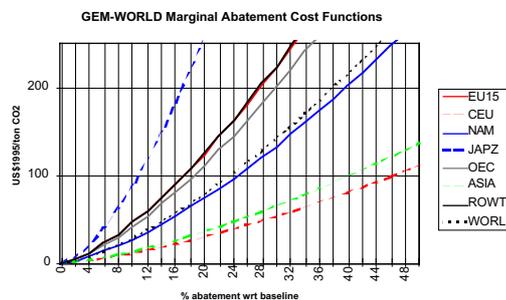
- Résultats

Le modèle GEM-E3 Monde a été utilisé pour estimer les fonctions de coût marginal de la réduction (CMR) des émissions de dioxyde de carbone pour différentes régions du monde suivant différentes hypothèses relatives à la distribution interne de l'objectif de réduction sur les secteurs d'émissions au sein des pays. Cette analyse a révélé que la manière dont les politiques de contrôle des émissions de dioxyde de carbone sont mises en œuvre au niveau national influence considérablement les coûts globaux de la réduction. Les efforts de réduction consentis par d'autres pays ne semblent pas modifier les fonctions de CMR nationales. Ces expériences de simulation ne sont pas totalement terminées et n'ont pas encore été consignées dans un document de travail. Les chiffres suivants présentent deux séries de fonctions de CMR. Dans la Figure 5, nous partons du principe que les efforts de réduction sont alloués de manière efficiente aux différents secteurs au sein de chaque pays, c'est-à-dire que les CMR sont égalisés dans les différents secteurs au sein de chaque région. Dans la Figure 6, nous partons du principe que les CMR ne sont que partiellement égalisés entre les quatre groupes de secteurs. Par exemple, pour l'UE, une taxe sur les hydrocarbures de 100 USD/tonne de CO<sub>2</sub> permettrait d'atteindre une réduction des émissions de 31% si les efforts sont alloués de manière efficiente, et de 17% si les efforts sont alloués uniformément sans tenir compte des différences de coût entre les secteurs.

**Figure 5: Allocations nationales  
efficientes**



**Figure 6: Allocations nationales  
inefficientes**



### 2.3. Niveau belge

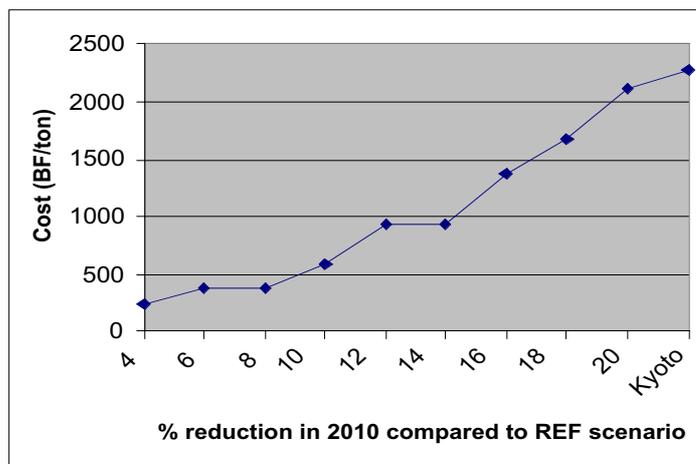
- Méthodologie

Le modèle Markal, un modèle d'équilibre partiel du système d'énergie pour la Belgique, a été utilisé pour calculer une fonction de coût marginal de réduction pour la réduction des émissions de GES en Belgique en 2010. Le modèle a été élaboré pour la Belgique dans un projet de recherche mené en commun par CES et VITO dans le cadre du même Programme de Changement Global financé par les SSTC. La fonction de coût calculé avec Markal comprend les trois manières de réduire les émissions de GES, c'est-à-dire que le passage à des carburants à GES moins intensifs, l'utilisation de technologies moins efficaces et une réduction de la demande des services énergétiques sont inclus dans la courbe de coût.

- Résultats

Jusqu'au niveau de réduction nécessaire pour atteindre l'objectif de Kyoto, tous les secteurs font appel à ces différentes techniques pour réduire leurs émissions de GES, à l'exception du secteur des transports, où la réduction de la demande est la seule mesure offrant un rapport coût/efficacité favorable. La part des énergies renouvelables n'augmente pas avec les réductions considérées dans cette étude. La Figure suivante présente la courbe de coût marginal pour 2010. Elle indique le coût marginal de la dernière tonne de réduction des émissions de GES pour différents pourcentages de réduction d'émissions de GES en 2010 (de 4% à 20%).

**Figure 7: coût marginal de la réduction des émissions de GES en Belgique, en 2010**



Les résultats de cette étude sont décrits dans Proost et Van Regemorter (**CWP 41**) et ont été utilisés comme données de base pour le projet de plan climat national publié par le Cabinet du Secrétariat d'Etat à l'Energie et au Développement Durable, en décembre 2000.

Le modèle européen GEM a été utilisé pour évaluer l'impact macroéconomique de différentes politiques pour atteindre l'objectif de Kyoto, pour la Belgique. Cette étude, menée dans le cadre des projets CLIMNEG et CLIMBEL, est résumée dans le rapport final CLIMBEL et ses résultats sont publiés par Proost et Van Regemorter (**CWP 41**). Elle a été financée en collaboration avec Ministère Fédéral Belge de l'Environnement.

**Références pour CLIMNEG III**

- Chwe, M. S.-Y. (1994), Farsighted coalitional stability, *Journal of Economic Theory* **63**, 299-325
- d'Aspremont, C., Jacquemin, A., Gabszewicz, J.J., and Weymark, J. (1983), On the stability of collusive price leadership, *Canadian Journal of Economics* **16**, 17-25
- Nordhaus, W.D., and Yang, Z. (1996), A regional dynamic general equilibrium model of alternative climate change strategies, *The American Economic Review* **86**, 741-756

**PROJET CLIMNEG IV**  
**Mécanismes pour la collaboration internationale et nationale**  
**dans le cadre de l'exécution du traité des Nations Unies**  
**sur les changements climatiques et du protocole de Kyoto.**  
**(Bureau Fédéral du Plan)**

## *1. Objectifs*

### *1.1. Enjeux*

Ces 10 dernières années, les mécanismes de collaboration internationale visant à maîtriser le problème des changements climatiques ont fait l'objet de pourparlers intensifs. Les progrès dans cette collaboration furent, entre autres, la conséquence logique du nombre croissant d'avis scientifiques indiquant que les changements climatiques constituent un réel problème écologique et économique. La problématique du climat présente une série de caractéristiques qui plaident en faveur d'une collaboration internationale. L'existence d'intérêts contradictoires entre les pays reste le principal obstacle à la collaboration. Il en résulte des visions divergentes sur les stratégies politiques à suivre et les mesures à prendre, et une certaine lenteur dans la concrétisation des règles de mise en œuvre.

Au cours de ces pourparlers, différents mécanismes ont été mis au point pour assurer la collaboration internationale. Parmi ceux-ci, les plus tangibles sont les mécanismes de Kyoto, le transfert de technologie, et les différents mécanismes d'aide financière aux pays en développement. Au niveau de l'Union européenne, il est depuis longtemps question de la mise en place d'instruments fiscaux communautaires ou coordonnés.

Dans le contexte - complexe et en constante évolution - de ces pourparlers en vue d'une collaboration internationale, le gouvernement belge doit défendre ses positions et présenter des mesures qui s'inscrivent dans un plan climat national cohérent. Pour aider le gouvernement dans cette tâche, CLIMNEG IV a effectué des recherches sur ces mécanismes de collaboration internationale et les a ensuite placés dans une typologie cohérente d'instruments visant à soutenir la politique climatique.

## *1.2. Buts*

Le quatrième volet de la mission d'étude consistait en une confrontation des activités de recherche des autres groupes du réseau CLIMNEG avec la réalité de la politique nationale et internationale en matière de climat. La mission du responsable CLIMNEG IV au sein de la Task Force Développement Durable du Bureau Fédéral du Plan consistait à déterminer quelles évolutions se manifestent dans la réalisation de mécanismes de collaboration internationale en matière de politique climatique, et comment ces mécanismes peuvent contribuer à donner forme au processus décisionnel national.

Etant donné que les négociations internationales sur le climat constituent un processus dynamique en constante évolution, il était important de redéfinir chaque fois les priorités de recherche de l'équipe CLIMNEG en fonction des développements les plus récents. CLIMNEG IV devait également faire office de maillon entre, d'une part, les autres partenaires du réseau CLIMNEG, et d'autre part, la réalité des pourparlers internationaux et du processus décisionnel belge en matière de changements climatiques. La mission de transmission de l'information de CLIMNEG IV s'est traduite par la publication d'un ensemble de six fiches pédagogiques. Celles-ci visent à fournir aux décideurs et aux représentants de la société civile des informations sur le processus de négociations internationales et sur les caractéristiques théoriques et les modalités pratiques de la mise en œuvre des différents mécanismes de collaboration internationale dans la politique belge en matière de climat.

## *2. Méthodologie*

### *2.1. Cadre méthodologique*

L'objectif final de la mission de recherche de CLIMNEG IV était de contribuer au *développement de capacités* dans le cadre de la problématique climatique. Dans un contexte international en évolution constante, il y avait un grand besoin en la matière, tant au niveau de l'administration belge et de la société civile qu'au sein du réseau CLIMNEG lui-même.

Pour répondre à cette demande, un *cadre méthodologique* a été mis en place, à l'intérieur duquel les informations sur les mécanismes de collaboration internationale pouvaient être

présentées de manière cohérente, transparente, accessible et claire. A cet effet, une classification des mécanismes de collaboration internationale a été établie suivant une typologie d'instruments de politique. Une distinction a d'abord été faite entre, d'une part, les instruments de *soutien de la politique* et, d'autre part, les instruments d'*exécution de la politique*.

- Les instruments de soutien de la politique ont trait aux différentes phases de la préparation et de l'échelonnement de la politique et des mesures. Ils concernent entre autres la planification des objectifs de réduction des émissions et des mesures et le suivi via le contrôle, l'élaboration de rapports et l'évaluation des effets.
- Les instruments d'exécution de la politique donnent corps à la réalisation des objectifs et des mesures. Le groupe des instruments d'exécution de la politique a été subdivisé en deux sous-groupes: les *instruments directs* et les *instruments indirects*. Ceux-ci ont à leur tour été subdivisés en cinq types d'instruments d'exécution de la politique:
  1. Instruments économiques ou axés sur le marché. Ils influencent les problèmes climatiques de manière *indirecte* et génèrent à leur tour des moyens permettant d'obtenir un changement au niveau des prix relatifs.
  2. Les instruments de communication ont également un effet *indirect* sur le problème. Ils influencent en effet la structure des valeurs des groupes cibles.
  3. Les instruments de réglementation ont une influence *directe* sur le problème: ils canalisent les comportements des groupes cibles en limitant leur liberté de choix.
  4. Un dernier groupe d'instruments comprend les accords volontaires, dans lesquels l'autorité régulatrice et l'entité régulée appliquent une mesure politique de commun accord.
  5. Les accords volontaires peuvent, selon leur degré d'obligation, constituer des instruments *directs* ou *indirects*.

Le Traité cadre des Nations Unies sur les changements climatiques de 1992 et le protocole de Kyoto de 1997 ont mis en place un *cadre institutionnel* dans lequel s'est déroulée l'analyse des mécanismes de collaboration internationale en matière de politique climatique. La progression de cette collaboration internationale a fait l'objet d'une analyse approfondie. Pour ce faire, on a analysé les arguments issus de la théorie du bien-être économique qui plaident en faveur d'une collaboration internationale, et les éléments qui pouvaient faire obstacle à cette stratégie politique idéale. On a ensuite procédé, au départ

de ce cadre institutionnel international, à l'analyse des mécanismes de collaboration à l'intérieur du cadre méthodologique préétabli (tableaux 1 et 2).

**Tableau 1: Instruments de soutien de la politique**

Planification	Plans climatiques nationaux et communications nationales contenant des informations sur l'inventaire des sources de gaz à effet de serre et des puits pour l'élimination des gaz à effets de serre, les mesures politiques prises ou prévues et les projections d'émissions futures (art. 12 du Traité).
Suivi	Inventaire, élaboration de rapports et contrôle des émissions (art. 4 et 12 du Traité et art. 5, 7 et 8 du Protocole) et dispositions quant aux règles relatives au respect des obligations (art. 18 du Protocole)

Le Traité et le Protocole imposent aux signataires diverses obligations en matière de coordination des instruments de soutien de la politique. La coordination internationale de ces instruments de soutien de la politique constitue l'une des clefs de voûte de la coordination internationale de la politique climatique. Un état de la situation quant à l'introduction de ces formes de collaboration au niveau des Nations Unies et de l'UE sera dès lors présenté.

**Tableau 2: Instruments d'exécution de la politique**

Instruments indirects      ⇔	Instruments économiques
	- <i>Instruments générateurs de marchés</i>
	- <i>Instruments fiscaux</i>
	Instruments de communication
	- <i>Information et sensibilisation</i>
	- <i>Transfert de technologies et de connaissances</i>
Instruments directs      ⇔	Instruments régulateurs
Instruments mixtes      ⇔	Accords volontaires

Les instruments d'exécution de la politique font chacun l'objet d'une analyse systématique dans des rapports pédagogiques spécifiques (voir *résultats* et *annexes*). Par ailleurs, une *structure d'analyse cohérente et uniforme* est adoptée pour chaque instrument. Les rapports commencent toujours par une description et une analyse des

bases théoriques de l'instrument. Vient ensuite une analyse de leurs caractéristiques spécifiques. Il est alors possible de déterminer dans quelles circonstances ces instruments peuvent être pris en compte dans la politique. Pour aider les décideurs politiques à rendre ces instruments opérationnels, les rapports décrivent également les phases nécessaires à leur mise en œuvre. Enfin, les rapports s'arrêtent sur la manière dont ces instruments peuvent être utilisés dans une politique climatique nationale ou internationale.

## *2.2. Collecte des informations*

Les informations contenues dans ces rapports pédagogiques ont été collectées via une participation active à la délégation belge et aux pourparlers internationaux dans le cadre de la convention sur le climat et du protocole de Kyoto. Par ailleurs, la fonction de *"Focal Point" international* pour la Belgique a été exercée au cours de la période 1998-1999. Cette fonction comprenait entre autres responsabilités la diffusion des informations importantes issues des pourparlers internationaux aux différents niveaux de l'administration belge. Les chercheurs ont ainsi pu obtenir des informations de première main sur l'avancement des négociations. Il y eut en outre une participation active, au sein des différentes structures de concertation, aux discussions menées en Belgique sur le développement de mesures nationales.

**Cadre 1:** *Groupes de travail auxquels on a participé activement*

- Le groupe européen Ad Hoc et le groupe d'experts sur le Changement climatique
- Le groupe d'experts Annexe I de l'OCDE
- Les organes de soutien du Traité sur le climat (SBI/SBSTA) et les réunions des parties (COP)
- Le groupe de coordination 'gaz à effet de serre' au sein du Comité de Coordination de la Politique internationale de l'Environnement (CCPIE).
- Le "*in debt review*" du secrétariat UNFCCC (1-5 février 1999)
- Le Groupe Energie et Climat du Conseil Fédéral Développement Durable (CFDD)
- Les réunions du réseau CLIMNEG
- Les réunions du réseau GECS (Global Emissions Control Scenarios) chargé, pour le compte de la Commission Européenne, d'étudier les stratégies de collaboration internationale en vue de la réduction des émissions de gaz à effet de serre
- Différents débats organisés par la société civile (Arbeid en Milieu, Vlaams Overleg Duurzame Ontwikkeling (VODO), Overleg Duurzame Energie (ODE) Vlaanderen, etc...)

Outre le suivi des pourparlers nationaux et internationaux en matière de politique climatique et la participation à de nombreux congrès scientifiques, une grande quantité d'informations a été recueillie dans la *littérature socio-économique et scientifique* consacrée au sujet.

Enfin, une *collaboration intensive* avec des collègues de la Task Force Développement Durable multidisciplinaire du Bureau Fédéral du Plan et avec des collègues de la Cellule Energie du Bureau Fédéral du Plan a largement contribué au projet. Cette collaboration est garante d'une approche méthodologique interdisciplinaire de la problématique du climat au sein du réseau CLIMNEG. De cette manière, une série d'éléments de l'approche de la problématique des changements climatiques dans une perspective de développement durable ont pu être intégrés dans l'analyse des mécanismes de collaboration. La Task Force étant aussi impliquée dans un projet de recherche européen

sur la répartition mondiale des charges relatives à la réduction des émissions à long terme, des résultats de recherche intéressants ont également pu être puisés dans ce projet.

### 3. Résultats

Les résultats des négociations et des analyses ont été régulièrement présentés au réseau CLIMNEG, aux structures belges de coordination et aux différents organes de concertation sociale (comme le Conseil Fédéral pour le Développement Durable). Des contributions écrites ont été fournies sous forme de rapports de mission et d'exposés (voir annexes). Enfin, ces informations ont été regroupées de manière pédagogique et accessible aux décideurs politiques, puis présentées sous la forme de documents pédagogiques (voir annexes).

Un résultat important et concret des activités de CLIMNEG IV fut la publication de six *documents pédagogiques*. Ces documents s'adressent à un large public de décideurs, membres de la société civile, universitaires et autres personnes intéressées. Ils permettent de mieux comprendre le domaine complexe que représente la mise en œuvre d'une politique climatique. Ils mettent l'accent sur l'importance de l'investissement dans la connaissance de la problématique et contribuent à l'amélioration des prises de décision en la matière.

1. Le premier document (**CWP 28**) fait l'analyse des *progrès* enregistrés ces 10 dernières années dans *la collaboration internationale* pour la maîtrise du problème climatique. Il décrit les facteurs qui ont influencé de manière positive la collaboration et ceux qui lui ont fait obstacle. Les progrès dans cette collaboration furent, entre autres, la conséquence logique du nombre croissant d'avis scientifiques indiquant que les changements climatiques constituent un réel problème écologique et économique. La problématique du climat présente une série de caractéristiques qui plaident en faveur d'une collaboration internationale. L'existence d'intérêts contradictoires entre les pays reste le principal obstacle à la collaboration. Il en résulte des visions divergentes sur les stratégies politiques à suivre et les mesures à prendre, et une certaine lenteur dans la concrétisation des règles de mise en œuvre. Le document dresse un bilan de ces progrès et obstacles. Il illustre ce bilan par une description des négociations en vue de la création d'un cadre pour la collaboration internationale. Enfin, il esquisse le cadre des instruments de soutien et d'exécution de la politique dans le cas d'une

politique climatique nationale ou internationale ou plus généralement d'une politique de développement durable.

2. Le deuxième document (**GWP 29**) vise à fournir des informations sur les fondements théoriques des *droits d'émission négociables* et à évaluer ensuite la manière dont ces instruments générateurs de marché peuvent s'inscrire dans la politique climatique nationale et internationale. La 1<sup>ère</sup> partie expose la théorie qui sous-tend le fonctionnement des droits négociables. Elle propose une classification des droits d'émission négociables, esquisse les caractéristiques de ces instruments et indique les étapes à franchir dans le développement d'un système pour les droits d'émission négociables. Enfin, les auteurs se penchent sur les obstacles susceptibles d'entraver l'utilisation de ces instruments. Dans la 2<sup>ème</sup> partie, la théorie est appliquée aux mécanismes de Kyoto. On y traite de manière approfondie des échanges internationaux de droits d'émission (IET), des mécanismes d'application conjointe (JI) et des mécanismes de développement propre (CDM). On y aborde les problèmes rencontrés par les négociateurs dans l'élaboration des règles, conditions et directives de mise en œuvre, et un état de la situation est dressé quant aux progrès des pourparlers internationaux (jusqu'en août 2000). Le document s'achève par une brève évaluation des effets éventuels des trois mécanismes sur l'efficacité environnementale, l'équité sociale et l'efficacité économique du protocole de Kyoto. Le document aborde également les conséquences sur l'encouragement des avancées technologiques et la faisabilité politique d'une ratification rapide du protocole.
  
3. Le troisième document (**GWP 30**) informe les responsables politiques sur les caractéristiques d'un sous-groupe d'instruments économiques, à savoir les *instruments fiscaux*. Le document analyse également les conditions de leur utilisation en tant qu'instrument dans la politique climatique. Le chapitre 1 propose une description générale du fonctionnement et des caractéristiques des instruments fiscaux. Il envisage à la fois les caractéristiques positives et négatives. Le chapitre 2 fournit une typologie des différents types d'instruments fiscaux. Le chapitre 3 examine dans quelles conditions les instruments fiscaux peuvent être utilisés, comment ils doivent être conçus et quelles directives doivent être suivies pour leur application. Enfin, le chapitre 4 applique les considérations théoriques des chapitres précédents à la politique climatique. Le chapitre final propose quelques considérations sur le rôle que les instruments fiscaux peuvent jouer dans la future politique climatique nationale et internationale.

4. Un quatrième document (**CWP 31**) analyse l'utilisation d'*instruments régulateurs* dans la politique climatique. Le chapitre 1 fournit, à travers une série de définitions et de caractéristiques, une description théorique des instruments régulateurs, puis propose une typologie permettant de classer les différents types d'instruments. Le chapitre 2 décrit les différentes étapes qu'il faut parcourir pour la mise en œuvre des instruments régulateurs. Les phases de sélection et d'application font l'objet d'une attention particulière. Le chapitre 3 situe la place accordée aux instruments régulateurs dans la convention sur le climat et le protocole de Kyoto, et examine au moyen d'exemples pratiques quel rôle leur est réservé dans la politique actuelle et future au niveau national et européen.
  
5. Un cinquième document (**CWP 38**) informe les décideurs politiques sur la place qu'occupent les *instruments de communication* dans la politique climatique nationale et internationale. Le document esquisse d'abord un cadre théorique général pour l'utilisation des instruments de communication. On y trouve une description de la place qu'ils occupent dans la convention cadre sur les changements climatiques et dans le Protocole de Kyoto. Leurs finalités et les conditions et formes recommandées pour leur mise en œuvre sont également abordées. L'utilisation des instruments de communication dans la politique climatique internationale est mise en lumière. A cet effet, les auteurs analysent les exigences du Traité et du Protocole en matière de développement et de transfert des technologies écologiques et l'acquisition de capacités et de connaissances dans les pays en développement et les pays à économie de transition. Les négociations en la matière n'étant pas encore terminées, le document se limite à dresser l'état d'avancement du processus (août 2000). Le document s'achève par une analyse du rôle des instruments de communication dans une future politique climatique. Il propose en conclusion quelques idées sur la manière dont la politique belge en matière de climat et de coopération au développement peut mettre en œuvre concrètement les transferts de technologies.
  
6. Enfin, le sixième document (**CWP 37**) porte sur l'utilisation des *accords volontaires* dans une stratégie de réduction des émissions de gaz à effet de serre. On y retrouve la même structure, à savoir une classification des types d'accords volontaires, suivie par une analyse de leurs principales caractéristiques. Le tout débouche sur des directives pour leur utilisation et leur application dans la politique climatique. L'ensemble est illustré par des exemples d'accords volontaires dans la politique climatique nationale et européenne.

Lors de la rédaction des documents pédagogiques, une attention toute particulière a été accordée à la lisibilité des textes. Cette lisibilité était indispensable pour que cette matière complexe soit accessible à un large public. On s'est efforcé de conserver une structure aussi claire que possible et l'on a parfois délibérément simplifié le langage utilisé.

L'objectif est de diffuser le plus largement possible ces documents pédagogiques parmi les décideurs responsables de l'élaboration et de la mise en œuvre du plan climat national et les responsables de la coordination des activités au niveau européen durant la future présidence belge de l'UE. L'ensemble de six documents pédagogiques a été publié sous la responsabilité du Bureau fédéral du Plan sous la forme d'un Planning Paper. Afin que ces documents soient plus accessibles, il a été procédé à leur *traduction en français*.

La participation active à la préparation des positions belges dans les négociations internationales et au développement de mesures nationales au sein des diverses structures de concertation a abouti à des propositions visant à améliorer le fonctionnement de ces structures. Ces propositions ont aussi été reprises partiellement dans le Plan fédéral de Développement Durable.

C'est Thomas Bernheim qui a assuré la majeure partie des activités pour CLIMNEG IV. Mais d'autres membres de la Task Force Développement Durable ont également apporté leur contribution au réseau. Ceci a débouché sur la publication de deux documents de travail axés sur l'approche interdisciplinaire au sein de CLIMNEG et de la Task Force:

- Dans un premier document, *Stéphane Willems* propose une analyse des pourparlers internationaux du point de vue de la théorie économique. Il s'agit du **CWP 12**: Chander, P., Tulkens, H., Van Ypersele, J.-P. and Willems S. (1998), "*The Kyoto Protocol: An Economic and Game Theoretic Interpretation*".
- Dans un second document, *Nadine Gouzée* et Thomas Bernheim illustrent la nécessité de trouver des solutions au problème climatique qui soient en accord avec les principes du développement durable. Il s'agit du **CWP 25**: Bernheim, Th. and Gouzée, N., 1999, "*A Sustainable Development Approach to Climate Change: Why and How?*"

## 4. Les acteurs de l'étude et les liens de collaboration

### 4.1. Présentation des équipes

- Taille, composition et ressources

Comme mentionné, le projet CLIMNEG IV fut exécuté par la Task Force Développement durable du Bureau fédéral du plan. Il est composée d'experts engagés spécifiquement pour répondre aux obligations de la loi du 5 mai 1997 (au nombre de 6), de membres du Bureau fédéral du plan ayant également d'autres missions (au nombre de trois) et d'un nombre variable de scientifiques engagés grâce à des contrats de recherche spécifiques financés par diverses institutions nationales et européennes. Le projet CLIMNEG en est un exemple. Elle rassemble ainsi des universitaires de disciplines différentes ayant à l'origine des expériences professionnelles fort diversifiées.

- Inscription institutionnelle

La Task force développement durable constitue le groupe qui, sous la direction et la responsabilité du Bureau fédéral du Plan, exécute la rédaction du rapport fédéral et la préparation du projet de Plan fédéral.

- Principales activités

Les principales activités de la Task Force Développement durable sont définies par la loi du 5 mai 1997 relative à la coordination de la politique fédérale de développement durable.

- Type et importance de la production normale de l'équipe

Selon cette loi, la Task Force est chargée de l'élaboration d'un rapport fédéral de développement durable tous les deux ans et de la préparation de l'avant-projet de plan fédéral tous les 4 ans sur base des orientations de la Commission interdépartementale du développement durable. Comme il s'agit d'une première application, elle est donc aussi chargée de mettre au point les méthodologies nécessaires à la réalisation concrète d'une approche transdisciplinaire de développement durable qui soit suffisamment rigoureuse pour être crédible. D'autres tâches relatives à la préparation ou à l'évaluation des décisions de développement durable du gouvernement fédéral sont aussi régulièrement demandées à la Task Force. Celle-ci exécute enfin les contrats de recherche spécifiques nationaux et européen qui lui permettent d'enrichir les fondements scientifiques de ses approches.

- **Positionnement scientifique**

Une approche transdisciplinaire est une approche qui, non seulement, rassemble des spécialistes de plusieurs disciplines pour produire ensemble un travail bénéficiant des éclairages distinctement apportés par chacune d'elles (comme le font toutes les approches pluridisciplinaires), mais qui traverse aussi ces disciplines pour apporter un soutien à la prise de décisions. Son but est d'améliorer la compréhension globale du monde (et pas seulement sa compréhension analytique) en vue de fournir aux décideurs individuels ou collectifs une meilleure capacité de prise en compte simultanée de toutes les données quantitatives et qualitatives d'un problème avant de décider. Ce type de travail se mène donc à l'interface entre la recherche scientifique et la prise de décisions politiques.

- **Stratégie, perspective et projets**

La Task Force considère le Développement durable comme un processus d'apprentissage. Les perspectives et projets de l'équipe s'organisent tous autour d'une préoccupation principale : veiller à ce que l'application de la loi de mai 1997 porte de meilleurs fruits chaque année. Les Rapports fédéraux qu'elle est appelée à produire doivent servir à améliorer les possibilités de dialogue et de débat sur le Développement durable au niveau de l'Etat fédéral. C'est pourquoi ils offrent des outils et des méthodologies (exemple : sur les composantes et critères ou dimensions du DD) intégrés dans une démarche d'ensemble cohérente qui peut aider à accroître la pertinence de ces débats sur les politiques à mener et les décisions prises ou à prendre.

- **Pratiques de coopération**

La Task Force est ouverte à toute possibilité de coopération, tant au sein de l'administration qu'en dehors, dans la mesure de ses moyens. Le projet CLIMNEG IV en sous-traitance<sup>4</sup> de l'UCL illustre ce type de collaboration.

- **Eléments significatifs de l'histoire de l'équipe**

Il s'agit d'une équipe relativement nouvelle (née en janvier 1998) dont la connaissance des principes et engagements du développement durable s'est, au départ, principalement fondée sur des sources extérieures à la Belgique (Nations Unies, OCDE, UE). Certains membres de cette équipe disposent d'une expérience approfondie des enjeux et de la pratique de la négociation internationale en ces matières. D'autres ont, au contraire, un

---

<sup>4</sup> Le caractère scientifique du Bureau fédéral du plan n'étant pas reconnu par les SSTC, elle ne peut pas s'y intégrer directement.

profil plus axé sur la recherche scientifique ou une bonne connaissance des enjeux de terrain à l'intérieur de la Belgique.

#### *4.2. Situation et signification du projet*

- Le collaborateur et ses qualifications

Un expert a été financé pendant deux ans pour travailler à temps plein sur ce projet. Ses qualifications sont les suivantes:

- Licentiaat Algemene Economische Wetenschappen (Vrije Universiteit Brussel)
- Licencié en Sciences de l'Environnement (Université Libre de Bruxelles)
- Master of Science in Environmental and Resource Economics (University College London)

- Interactions avec les autres activités au sein de la Task Force

Rio 92 constituait la base officielle de l'élaboration et de la mise en œuvre d'un développement durable. L'un des résultats majeurs de Rio est le Traité cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (UNFCCC). Les résultats de Rio 92 forment la base du travail entrepris au sein de la Task Force. Le projet CLIMNEG se situe dans le contexte de l'un des éléments centraux de Rio 92, à savoir le Traité cadre sur les changements climatiques. Le projet est complémentaire aux recherches menées au sein de la Task Force sur d'autres thèmes sociaux, économique et écologiques. Dès lors, cette étude constitue une opportunité d'accroître les capacités au sein de la Task Force. Enfin, le projet permet également de réduire la distance entre l'administration et le monde scientifique.

- Contributions spécifiques de ce projet au travail de la Task Force

Des collaborateurs du Bureau fédéral du Plan étaient présents tant durant les pourparlers lors de la présidence belge de l'UE en 1993 que durant les négociations de Rio 92 (avec l'UNFCCC), le Mandat de Berlin en 1995 et le protocole de Kyoto en 1997. Ce projet permet au Bureau fédéral du Plan de continuer à suivre les négociations ayant trait à ce domaine important du développement durable. En l'absence de tels projets, dans lesquels le Bureau fédéral du Plan constitue un lien entre le monde scientifique et l'administration, le soutien des futures négociations par le Bureau fédéral du Plan serait impossible. Les connaissances accumulées dans le cadre de tels projets ont déjà été utilisées, par le passé, pour l'élaboration du premier Rapport fédéral en matière de développement durable, et

seront à nouveau utilisées pour le second Rapport fédéral en matière de développement durable.

*Participants officiels:* MM. Thomas Bernheim et Stéphane Willems