



Académie royale  
des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts  
de Belgique

# Le changement climatique au carrefour entre écologie, économie, théorie des jeux et diplomatie

Cours-conférences faits au

“COLLÈGE BELGIQUE”

de

l'Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique

Bruxelles, les 8 et 15 octobre 2013

par

**Henry Tulkens**

Professeur émérite de l'Université catholique de Louvain et des Facultés Universitaires Saint-Louis,  
Membre du Center for Operations Research and Econometrics (CORE – UCL),  
Professeur visiteur à l'Université Ca' Foscari de Venise (2011 et 2013)

## **Leçon 2 B : Diplomatie**

*Le processus CCNCC : Rio, Kyoto, Copenhague, Cancun, Durban, Doha, ...*

Leçon 2 B : Diplomatie. - *Le processus CCNUCC:  
Rio, Kyoto, Copenhague, Cancun, Durban, Doha, ...*

## **Plan de l'exposé**

**Introduction: Rio (1992) et la CCNUCC**

**I. Le Protocole de Kyoto (1997) à grands traits.**

**II. Interprétation économique et stratégique du Protocole**

**III. Une évaluation de la première période d'engagement (2008-2012)**

*La situation post-ratification*

*Interprétation que suggère la théorie des jeux : un ENPC*

**IV. L'après Kyoto : poursuite du processus CCNUCC jusque 2020, et sans doute au delà...**

*Faits: Copenhague (2009), Cancun (2010), Durban (2011), Doha (2012), ...*

*La deuxième période d'engagement (2013-2020) : un deuxième ENPC*

*Le rôle du temps dans l'analyse*

**Conclusion**

*Une question qui motive tout l'exposé :*

Dans la **construction** d'un accord mondial en matière climatique,  
peut-on donner un sens à la séquence ...

1992 *Convention* de Rio

1997 *Protocole* de Kyoto,

2009 *Accords* de Copenhague

2010 *Arrangements* de Cancun

2011 *Plate-forme* de Durban

2012 *Passerelle* de Doha

2013 ... de Varsovie

**Ou n'est-ce qu'une "favela" sans architecture?**

Rendez-vous à la fin de la séance.

Rappel:

La théorie des jeux présentée à la leçon précédente était celle des **jeux en forme stratégique**, non pas en forme *extensive*

Les « stratégies » désignent des **actions**

– pas des *tactiques préalables* à l'action (ce que couvrirait la forme extensive).

On va donc **se concentrer sur ce que sont les actions**

c'est à dire les *émissions*, dans le processus temporel mentionné.

## **Rio 1992 :** **la Convention Cadre des Nations Unies** **sur le Changement Climatique (CCNUCC)**

Un cadre global de l'effort intergouvernemental est mis en place par l'ONU pour faire face au défi posé par les changements climatiques.

Aux termes (officiels) de la Convention, les gouvernements:

- rassemblent et diffusent les **informations** sur les gaz à effet de serre, sur les différentes politiques nationales et sur les meilleures mises en pratiques;
  - mettent en oeuvre les **stratégies nationales** pour faire face aux émissions de gaz à effet de serre et s'adapter
  - **coopèrent** pour se préparer à l'adaptation aux impacts des changements climatiques.
- 
- A cette fin, un **secrétariat** est établi (à Bonn), qui va organiser les rencontres des Parties (COPs) dans le futur.
  - À l'une d'entre elles (Berlin 1995) les gouvernements décident **d'agir de concert sous la forme d'un Protocole**, forme juridique dont les dispositions sont contraignantes pour les Parties.

*Première mise en œuvre, majeure, de la CCNUCC :*

## **I. Le Protocole de Kyoto (1997), à grands traits.**

- (i) Le Protocole instaure ***des quotas (permis) d'émissions annuelles maximales***, exprimés en pourcentage des émissions de 1990<sup>1</sup>, ***pour 38 pays cités dans son Annexe B***, à respecter en moyenne sur la période d'engagement ***2008-2012***.
- (ii) Il établit les principes (a) de la ***négociabilité des permis*** entre pays de l'Annexe B et (b) de la ***mise en œuvre conjointe*** entre ceux-ci.
- (iii) Il établit un ***mécanisme de développement propre*** (MDP) impliquant les pays non-Annexe B (spécialement les pays en développement) dans une forme particulière de ***négociabilité des réductions*** d'émission chez eux.
- (iv) Il n'autorise la négociabilité des permis d'émissions ***qu'entre pays ayant ratifié*** le Protocole.

En (très) résumé, une construction institutionnelle appelée « **cap and trade** »

<sup>1</sup>représentant ensemble – 5,2% du total de celles-ci.

Deux précisions :

(v) *Pas de quotas d'émissions maximales* pour les pays *non-Annexe B*, *même si signataires (ratifiants) du Protocole*.

(vi) Les parties au Protocole assurent elles-mêmes la *mise en oeuvre* de leurs engagements **à l'intérieur** de leurs frontières.

Un *Accord de Marrakech* (2001) précise les *sanctions* en cas de défaillance, parmi lesquelles la principale est l'exclusion du "trading" des permis.

# Protocole de Kyoto

## Liste des pays de l'Annexe B, avec leur « qelro »

- |   |  |
|---|--|
| 1. Australia 108                                | 21. Lithuania* 92  |
| 2. Austria 92                                   | 22. Luxembourg 92  |
| 3. Belgium 92                                   | 23. Monaco 92  |
| 4. Bulgaria* 92                                 | 24. Netherlands 92   |
| 5. Canada 94                                    | 25. New Zealand 100  |
| 6. Croatia* 95                                  | 26. Norway 101   |
| 7. Czech Republic* 92                           | 27. Poland* 94   |
| 8. Denmark 92                                   | 28. Portugal 92  |
| 9. Estonia* 92 ( <i>European Community 92</i> ) | 29. Romania* 92  |
| 10. Finland 92                                  | 30. Russian Federation* 100                                    |
| 11. France 92                                   | 31. Slovakia* 92   |
| 12. Germany 92                                  | 32. Slovenia* 92   |
| 13. Greece 92                                   | 33. Spain 92   |
| 14. Hungary* 94                                 | 34. Sweden 92  |
| 15. Iceland 110                                 | 35. Switzerland 92   |
| 16. Ireland 92                                  | 36. Ukraine* 100   |
| 17. Italy 92                                    | 37. United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland<br>92 |
| 18. Japan 94                                    | 38. United States of America 93                                |
| 19. Latvia* 92                                  |  |
| 20. Liechtenstein 92                            |  |



## II. Interprétation économique et stratégique du texte (1997) du Protocole

*Rappel des hypothèses qui inspirent l'interprétation:*

1. *La négociation vise à réaliser un optimum* du système économique-écologique (seul moyen, car la pollution est **transfrontalière** et les États sont **souverains**)
2. *Le statu quo (= absence de traité)* est un équilibre de Nash du jeu environnemental international, associé au système économique-écologique.

*Question considérée ici :*

*Cet optimum, si on le connaissait, et même si on y était, serait-il stable par rapport à des coalitions déviantes ?*

Car il pourrait ne pas l'être, si le statu quo était préféré par certains (rappel du graphique de la leçon 1 B)

On cherche donc une solution du jeu environnemental qui soit « stable » dans ce sens

**Thèse de la leçon précédente (2A) :** Un système de **transferts** entre les pays, accompagnant le profil optimal des émissions, permet de « **stabiliser** » l'accord optimal.

Dès lors un régime climatique “global” stable est concevable et possible.

## Formellement:

Un optimum calculé,  $(e_1^*, \dots, e_n^*)$ , est stable au sens du « cœur » du jeu environnemental s'il est accompagné de transferts de la forme (proposés dans Chander and Tulkens 1995, 1997):

$$T_i = \{g_i(\bar{e}_i) - g_i(e_i^*)\} - \frac{v'_i(z^*)}{\sum_{j=1}^n v'_j(z^*)} \left\{ \sum_{j=1}^n g_j(\bar{e}_j) - \sum_{j=1}^n g_j(e_j^*) \right\}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (\text{CT})$$

où  $T_i > 0$  signifie une *recette* du pays  $i$ , et  $T_i < 0$  un *paiement* par  $i$

qui garantissent que les bénéfices excèdent les coûts du passage « de Nash à Pareto »,

- pour chacun des pays (= avantage individuel)
- ainsi que pour toutes les coalitions de pays qui pourraient se former.

(= stabilité stratégique, au sens de la théorie des jeux).

**MAIS...** le Protocole de Kyoto *ne propose pas de transferts* entre pays signataires !

Il propose seulement :

- **des « caps »**, *i.e. des plafonds aux émissions* que les pays se « permettent » de faire, représentés par des permis qu'ils se sont répartis

et il établit

- **un « trading » des permis**, entre pays qui en désirent plus et ceux à qui moins suffirait.

**Thèse de la leçon présente :**

*Ces plafonds d'émissions, sur la base d'une répartition appropriée entre les pays, peuvent jouer exactement le même rôle « stabilisateur » que les transferts (CT) pour autant que se réalise un équilibre concurrentiel sur un marché mondial des permis.*

Quelle répartition initiale « appropriée » des permis ?

**Proposition** (CHANDER, TULKENS, VAN YPERSELE et WILLEMS 2003):

Une **répartition initiale des permis**  $e_1^0, \dots, e_n^0$   
qui pour chaque  $i$  satisfait l'expression :

$$(e_i^0 - e_i^*) \sum_{j \in N} v_j'(z^*) = \{g_i(\bar{e}_i) - g_i(e_i^*)\} - \frac{v_i'(z^*)}{\sum_{j \in N} v_j'(z^*)} \left\{ \sum_{j=1}^n g_j(\bar{e}_j) - \sum_{j=1}^n g_j(e_j^*) \right\}, i = 1, \dots, n \quad (\text{CT2})$$

**réalise la même situation stratégiquement stable que celle réalisée avec les transferts (CT)  
et peut donc les remplacer  
si sur le marché (secondaire) des permis le prix est égal à  $\sum_{j \in N} v_j'(z^*)$ .**

Dans cette expression, on a :

$e_1^*, \dots, e_n^*$  le vecteur des émissions optimales au niveau mondial

$\bar{e}_1, \dots, \bar{e}_n$  le vecteur des émissions de référence, c.à.d. Nash, celles du statu quo

$v_1(z^*), \dots, v_n(z^*)$  le vecteur des dommages marginaux à l'optimum

toutes grandeurs observables et mesurables.

Dès lors, la « bonne » répartition initiale des permis  $e_1^0, \dots, e_n^0$  est **calculable**.

- Du point de vue de la négociation,

l'expression et son calcul montrent en outre que

l'accord recherché *peut ne porter QUE* sur la *reconnaissance mutuelle*

- *des émissions de référence (Nash)*

- *des émissions optimales (un calcul)*

*puisque c'est de celles-ci qu'on déduit la répartition initiale impliquée par la formule (CT2)*

**Avantage : ne pas** se braquer directement sur la répartition elle-même des permis

**Donc :**

- Puisque un système de *permis d'émission, négociables* sur un marché concurrentiel, peut jouer le *même rôle que les transferts* stabilisateurs d'un accord sur des émissions optimales,
- et puisque par ailleurs *le Mécanisme de Développement Propre* (non développé ici) est lui aussi un instrument de marché, permettant d'associer les pays non-Annexe B (en développement) au mécanisme de marché,

**nous concluons, plus généralement:**

- 1) que *le (texte du) Protocole de Kyoto*, avec son architecture "cap and trade" peut être considéré comme **un pas dans la direction de l'optimum** d'un régime climatique mondial **stable**;  
  
et, dans une perspective dynamique,
- 2) *qu'une séquence de tels pas après 2012* peut constituer une *trajectoire temporelle stable* et **optimale** du régime climatique, conjointement à celle de l'économie mondiale.

### III. Une évaluation de la première période d'engagement (2008-2012)

#### 1. *La situation après ratifications: faits majeurs*

*Décembre 1997: le Protocole de Kyoto est signé*  
par les délégués gouvernementaux

*Février 2005: Entrée en vigueur* du Protocole,  
après *ratification* par les Parlements  
de 55 pays, représentant 55% des émissions mondiales en 1990.

*2005-2010: Des ratifications* subséquentes, jusqu'à **189** pays

(c.à.d. par les 190 États membres de l'ONU, *moins* 1, les USA).

## ***2. La situation après ratifications : interprétation en termes de théorie des jeux***

Une **première** interprétation est tentante:

***Le Protocole est un arrangement entre membres de l' "Annexe B",  
le reste du monde restant en dehors de cette "coalition Annexe B".***

Cette interprétation est suscitée par la vue selon laquelle  
les membres de l'Annexe B "*font quelque chose*" (*i.e.* abattements chiffrés p.r.1990)  
tandis que les autres pays "*ne font rien*".

Nous pensons que cette vue

- *ne correspond pas aux spécifications complètes* du Protocole
- *n'est pas une application correcte* de la notion de « stratégie » en théorie des jeux.

En revanche,

Nous pensons que la situation qui a prévalu sous l'égide du Protocole  
peut – et doit - être interprétée en termes de

- ce que **tous** les pays font pendant la première période d'engagements,
- en vertu de leur décision de **ratification** ou de **non ratification**,
- ce qui constitue un « **profil de stratégies** » bien défini..

*Explication* .....

.../...



*III.2. La situation post-ratification : interprétation en termes de théorie des jeux (suite)*

Considérons non plus le *texte* du Protocole,  
mais plutôt *la situation qui prévaut effectivement* pendant cette période 2008-2012.

Cette situation est le résultat (*outcome*) d'un jeu à  $n = 190$  joueurs,  
résultat constitué d'un profil de stratégies choisies pour la période 2008-2012  
et consistant en :

- (a) 189 actions conjointes telles que spécifiées dans le Protocole,
- (b) 1 pays – les USA - agissant seul, à sa guise (puisque ne ratifiant pas le Protocole).

*En termes d'émissions*, ce profil de stratégies comprend trois catégories d'actions:

- (a) Pour la coalition des 189 pays ayant ratifié,
  - (i) 37 pays énoncés dans l'Annexe B, réduisent leurs émissions aux niveaux *chiffrés* (« *QELRO* ») mentionnés dans celle-ci;
  - (ii) 152 pays dits “non Annexe B”, *mais signataires et ratifiants*, laissent leurs émissions évoluer à leur niveau “*business as usual*”.
- (b) Pour 1 pays n'ayant pas ratifié,
  - la stratégie est également celle du niveau “*business as usual*” de ses émissions.

*III.2. La situation post-ratification : interprétation en termes de théorie des jeux (suite)*

Ce profil de stratégies, nous l'interprétons comme un  
**Equilibre de Nash Partiellement Coopératif (ENPC)**

(previously called a Partial Agreement Nash Equilibrium (PANE) wrt a coalition),  
concept présenté plus haut, qui caractérise

*un équilibre de Nash entre : une coalition – ici, les 189 ratifiants,  
et des joueurs individuels non membres de cette coalition - ici 1, les USA.*

Propriétés:

- 1) L'état du système économique-écologique à ce ENPC *n'est pas un optimum*  
(ce qui veut dire : les choses pourraient aller mieux **pour tous**)
- 2) Est-il *stable*?  
On devrait dire non, parce que dominé par une solution possible, l'optimum.  
Mais...

*III.2. La situation post-ratification : interprétation en termes de théorie des jeux (suite)*

- le système se maintient, depuis près de 7 ans, en deçà d'un optimum possible
- cette coalition de 189 pays ratifiant le Protocole n'est pas petite:  
**elle est quasi mondiale**  
(ce qui contredit la thèse des « petites » coalitions, qui prédit l'instabilité de grandes coalitions)
- cette coalition a mis en œuvre un marché de permis d'émission quasi mondial

En revanche, ...

- si la coalition « a tenu » depuis 2005, **on constate des défections depuis 2012**  
en ce que des pays de l'Annexe B ne respectent pas leur engagement « QUELRO »,  
notoirement le Canada.

*III.2. La situation post-ratification : interprétation en termes de théorie des jeux (suite)*

- Néanmoins, le ENRC qui a prévalu sur la période d'engagement 2005-2012 peut être vu comme *une « solution » transitoire*,
- Qui est aussi **un pas vers** une « solution » comportant **tous** les joueurs.  
**Quand cela ?** Après la période d'engagement actuelle, soit 2012.  
Plus précisément:

thèse défendue par Chander et Tulkens (CORE Discussion Paper 2011/51):

À fin 2012,

•*ou bien* les USA rejoignent la coalition des 189 et un nouveau Kyoto est convenu, englobant cette fois **tous** les pays;

•*ou bien* les USA ne rejoignent pas, auquel cas Kyoto **s'écroule**, et le jeu reprend à zéro, en une *nouvelle recherche de coopération globale*

## **IV. L'après Kyoto : poursuite du processus CCNUCC**

### **IV.1 Préparation**

***Pendant que se déroulait la première période d'engagement (2005-2012), les instances CCNUCC ont préparé ce qui arriverait après décembre 2012: abandon, poursuite, ou renouvellement du Protocole de Kyoto ?***

*Un très très lent cheminement :*

***décisions de Copenhague (2009) :***

- reconnaissance unanime mondiale du plafond de 2 ° ("état" du système, pas "contrôle")
- procéder par "pledges" volontaires plutôt que par réductions négociées

***décisions de Durban (2011) :***

- ***continuation*** de principe, pour une deuxième période d'engagement, de la ***structure juridique*** internationale établie par le Protocole (dont: trading)
- Création d'un groupe de travail (ADP) avec mission de préparer pour 2015 le texte d'un ***accord climatique mondial*** prenant cours en 2020, dont le libellé est le suivant: ***"(1) un protocole, (2) un nouvel instrument juridique, ou (3) une solution concertée ayant force de loi au titre de la Convention, et s'appliquant à toutes les parties"***

#### IV.2 *décisions de Doha* (décembre 2012, COP 18) :

**Le Protocole de Kyoto est prolongé** par les gouvernements,  
mais *amendé* dans les sens suivant:

- La deuxième période d'engagement **est fixée** : *Jan. 1, 2013 – Déc 31, 2020*
- La composition des Parties (ratifiantes) au Protocole est **modifiée**
- La réduction des **émissions** à laquelle les Parties s'engagent est d'au moins 18% p. rapport à 1990
- La mission ADP en vue de 2015-2020 est **confirmée**.

*Détail sur la deuxième période d'engagement (2013-2020)*

**Le Protocole amendé** s'interprète comme

un *deuxième Equilibre de Nash Partiellement Coopératif* (ENPC)

-dont les **stratégies** (= niveaux chiffrés d'émissions sur la période)  
sont fixées dans une nouvelle Annexe B;

-avec quels **participants**? (quelle coalition) ?

les 189 ratifiants du Protocole,

*moins 4*, selon *texte officiel* de l'Amendement:

Canada « se retire du Protocole au 15 décembre 2012 »

Nouvelle Zélande « reste Partie au P. mais fixera un objectif dans le courant de 2013-20 »

Russie « n'entend pas prendre d'engagement chiffré sur la période »

Japon « n'entend pas être lié par la deuxième période d'engagement »

-Note:

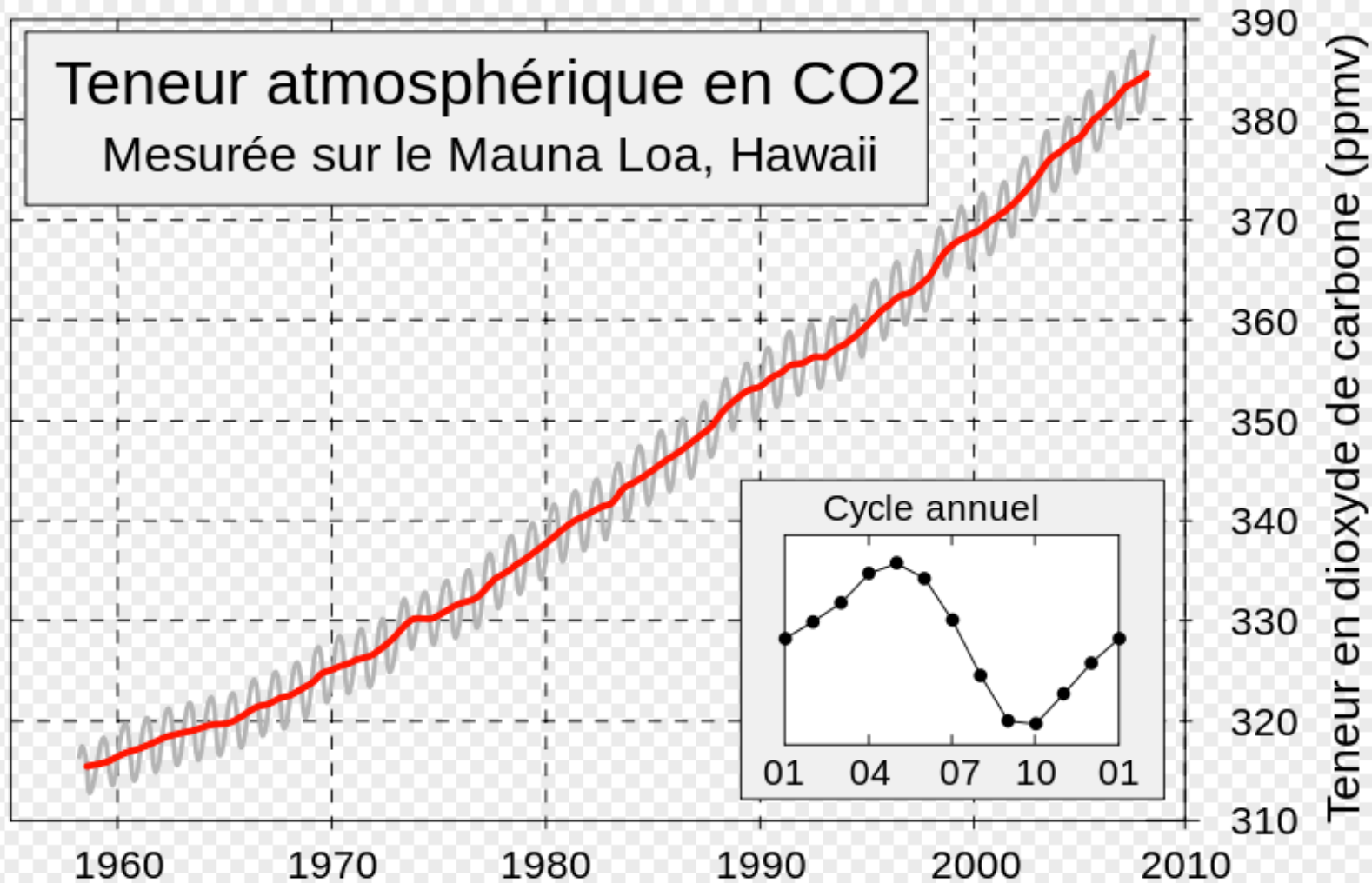
la sanction de Marrakech (exclusion du trading) est d'application aux 4 ci-dessus.

Avant de conclure, où en est-on en matière d'émissions effectives ?

Trois informations pertinentes.



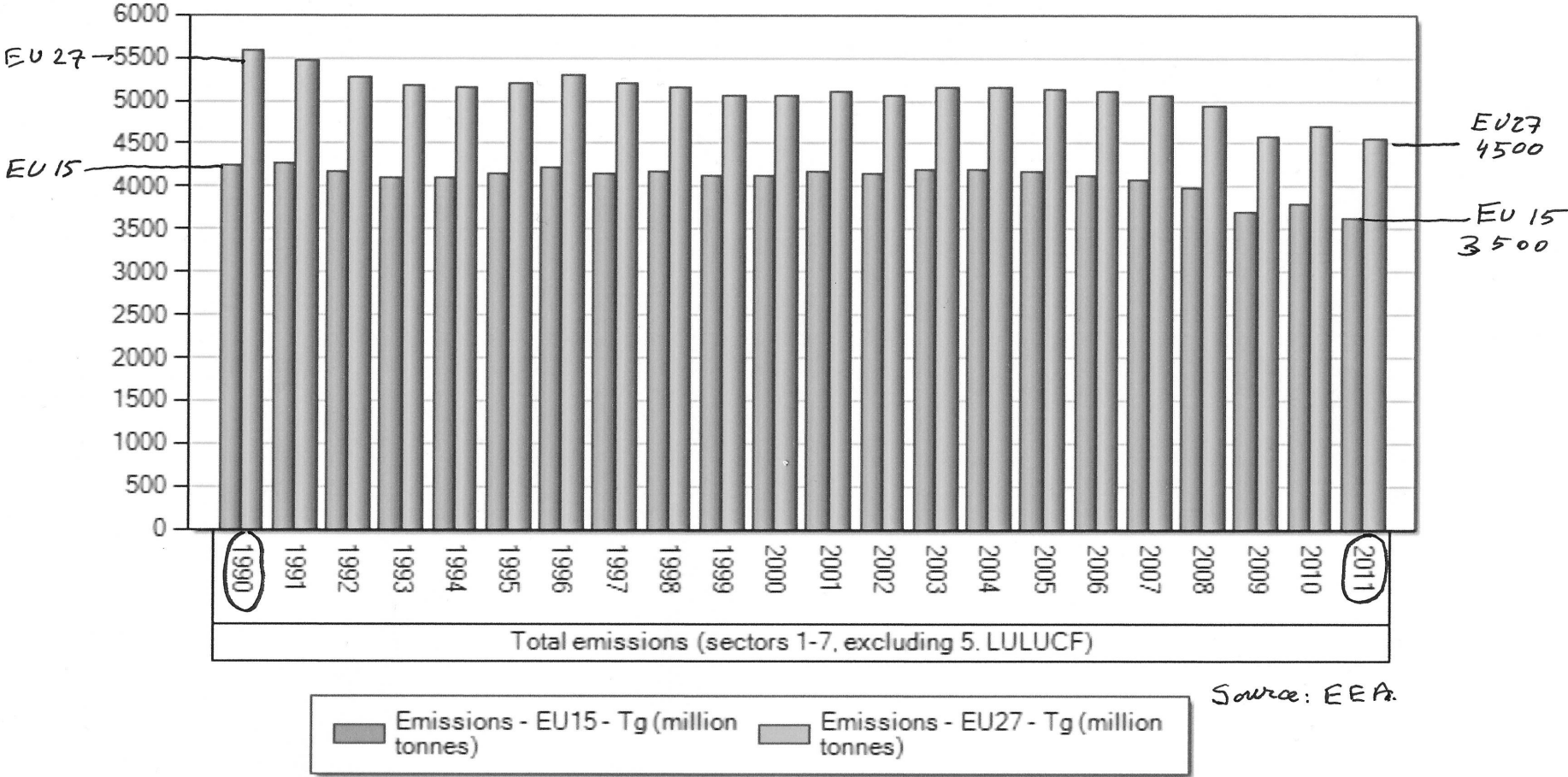
## Le stock de CO2 entourant la planète



Size of this preview: [800 × 515 pixels](#). Other resolutions: [320 × 206 pixels](#) | [640 × 412 pixels](#).

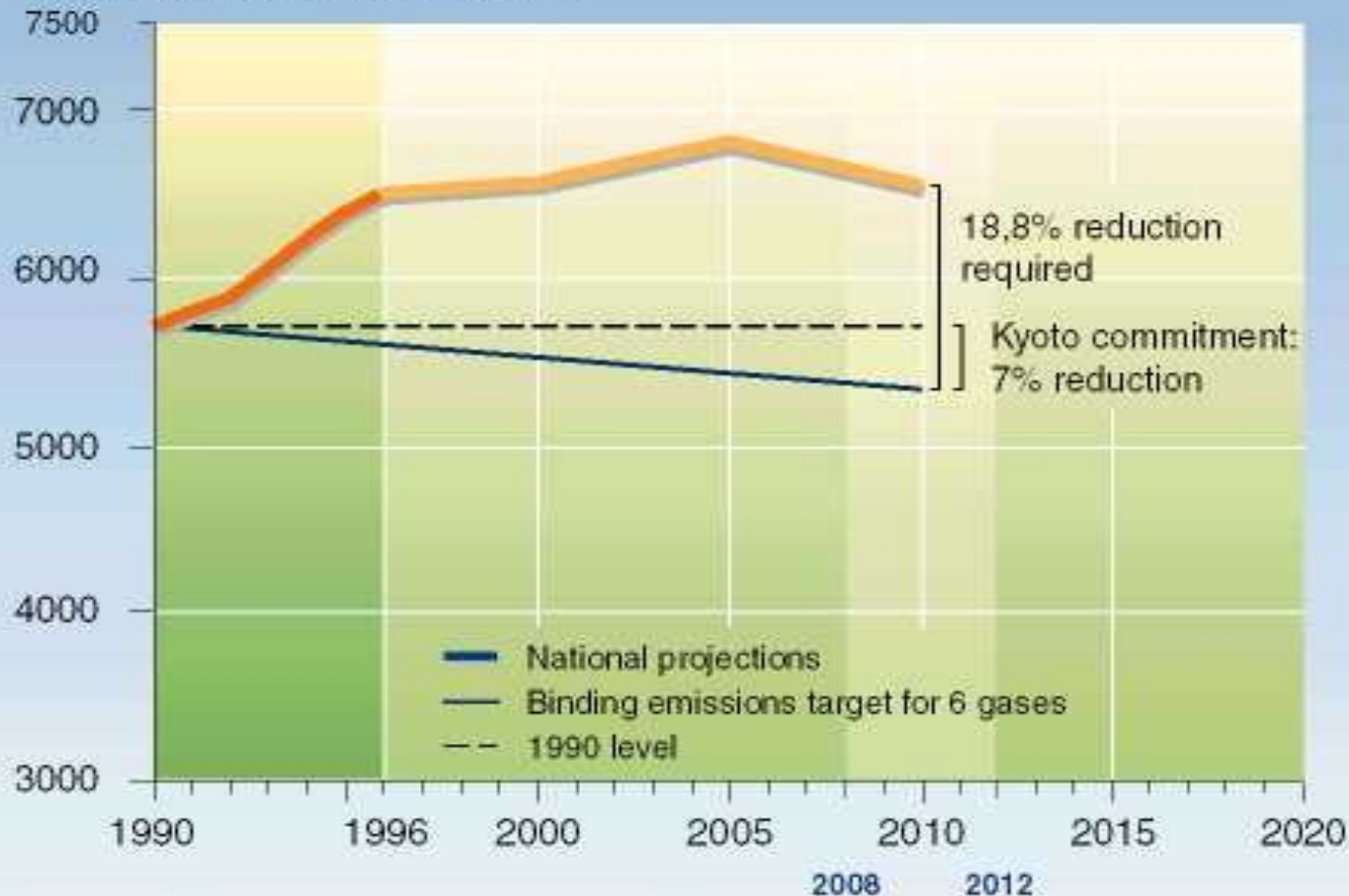
[Full resolution](#) (SVG file, nominally 850 × 547 pixels, file size: 31 KB)

# Les missions de l'Union Européenne 1990-2011



## Emissions of greenhouse gases in the United States (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O only)

Million tonnes of CO<sub>2</sub> equivalent



**The United States must introduce additional measures to reduce greenhouse gas emissions by 18,8% to fulfil the Kyoto Protocol between 2008 and 2012.**

### IV.3 *Réflexion sur le rôle du temps dans l'analyse*

**Le temps** est une dimension essentielle du problème climatique:

- Il y a d'abord *l'accumulation* du CO<sub>2</sub> au cours du temps,
- il y a aussi les émissions elles-mêmes, qui varient au cours du temps.

L'analyse des décisions humaines doit en tenir compte, de plusieurs manières,

parmi lesquelles la plus importante pour notre propos est l'alternative:  
**Coopération** vs **Non coopération** entre pays.

Dans un contexte temporel elle peut être formulée dans ces termes :

**La coopération d'aujourd'hui** garantit-elle celle de **demain**,  
et celle de **demain** peut-elle succéder à de la non coopération **aujourd'hui**?

Il serait contraire à la réalité du problème et de ses enjeux  
de penser tout accord en termes d'un seul, valable indéfiniment.

Une direction supplémentaire de réflexion est apportée par la théorie des jeux :

Celle du **degré de coopération** entre acteurs – ici les pays.

Ce degré peut être nul (équilibre de Nash) – ou total (cœur du jeu).

Le concept d' « *équilibre partiellement coopératif* » (ENPC), formulé dans le cadre de cette recherche,

nous conduit à considérer (in CORE DP 2011) que

*le Protocole de Kyoto est une expression de cette coopération partielle, sans doute vaste mais néanmoins incomplète.*

La perspective temporelle de jeux dynamiques incite à ne pas voir cette coopération comme un arrangement *one shot*, rigide au cours du temps,

mais plutôt comme **une** étape d'une *séquence de périodes d'engagement, réalisant la coopération entre pays à des degrés éventuellement variables, d'une période à l'autre.*

Chacune de ces périodes, après celle de 2008-2012, donnera lieu à un traité. Après le Protocole de Kyoto, l'Amendement de Doha est le second de ces traités.

## Pour conclure

Le Protocole de Kyoto est un accord environmental international qui peut être analysé par la théorie des jeux, parce qu'il spécifie des *actions* pour chacune des parties en cause.

Le fait de l'accord sur ces actions (= « stratégies ») implique qu'il s'agit bien d'une « **solution** » d'un jeu au sens technique du terme dans ce cas, un ENPC.

Les décisions de Copenhague, Cancun, Durban ne sont pas des « solution (s) » du jeu (d'où “*accords*”, “*arrangements*” etc.) mais elles *préparaient* le protocole suivant.

C'est celui de Doha (2012), qui ne sera, lui aussi, qu'**une étape dans une séquence de protocoles**, chacun de ceux-ci portant sur une période d'engagement précise, comportant des stratégies d'émission bien définies, et réalisant la coopération mondiale à des degrés variables au cours du temps.

**Il y a donc une *logique interne* dans l'itinéraire évoqué.**

Avec la théorie des jeux, en complément des analyses économique et écologique du problème j'espère vous avoir permis de la découvrir.

-----

**Merci pour votre attention**

**ainsi qu'à la Chaire d'enseignement et de recherche Lhoist Berghmans**

**« Entreprise, Économie, Environnement »**

**établie à l'UCL depuis 2001.**