



POLITIQUE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET GEOSTRATEGIE DES MARCHES ENERGETIQUES A LONG TERME



Un projet de recherche soutenu par le
programme GICC



LEPII

ORDECSYS

Journées du GICC - 27 et 28 mai
2008

OBJECTIFS

- Étude, dans une optique prospective, de l'interaction entre la mise en œuvre de politiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) et la dynamique du marché pétrolier mondial.
- Exploration de l'impact des politiques climatiques sur les grands pays exportateurs de pétrole.
- Analyse des comportements stratégiques de ces acteurs sur les marchés de l'énergie pour défendre leurs intérêts dans le contexte d'une contrainte carbone croissante.



Questions spécifiques posées par la recherche-1

- Compte tenu de la forme probable de la prochaine étape des négociations sur le climat comment peut-on représenter les partages possibles de l'effort de réduction des émissions de GES en vue d'atteindre une stabilisation de l'augmentation de température moyenne à moins de 2°C. ?
- Face à une taxe importante sur le carbone, l'OPEP visera-t-elle un prix du pétrole très bas en vue de compenser l'effet de la taxe, ou bien au contraire tendra-t-elle à optimiser ses revenus en limitant la production pour maintenir un prix élevé ?



Questions spécifiques posées par la recherche-2



- Dans un contexte de négociations climatiques avec un régime fragmenté où les PVD et les pays industrialisés se répartissent l'effort de réduction des émissions et décident de manière non coopérative le rythme de ces réductions, quelle serait la politique de prix optimale des pays producteurs de pétrole ?
- Le renchérissement actuel du prix du pétrole peut-il être perçu comme une bonne nouvelle pour le changement climatique en permettant de réduire nos consommations d'énergie et ainsi nos émissions de CO₂ ?

Questions spécifiques posées par la recherche-3

- Quelle est la sensibilité de nos économies et des nos émissions de gaz à effet de serre face à la variabilité du prix du pétrole ?
- Quel serait l'impact, sur le système pétrolier et sur l'interaction pétrole/climat, de barrières (choisies ou subies par les pays de la région) à l'augmentation des capacités de production du Golfe Persique ?
- Quelle sera l'influence du progrès technique et de l'apparition de nouvelles technologies (en particulier pour la capture et séquestration du carbone) sur la politique du changement climatique et la géostratégie des marchés énergétiques ?



Trois « chantiers de recherche »

- Construction, à l'aide du modèle des marchés énergétiques mondiaux POLES, de scénarios intégrant explicitement les interactions entre marché pétrolier et politiques climatiques ;
- Modélisation, à l'aide du modèle d'équilibre général calculable GEMINI-E3, des impacts macroéconomiques des politiques climatiques, notamment sur les pays exportateurs de pétrole ;
- Modélisation de jeux dynamiques représentant les comportements stratégiques des pays exportateurs dans le cadre de la négociation climatique « post-Kyoto » et sur le marché du pétrole.

Résultat-1

- Seules des politiques climatiques se traduisant par un prix du carbone très élevé ont un impact significatif sur le marché pétrolier (prix et demande) donc sur les revenus des pays producteurs du Moyen-Orient. Cet impact ne se manifeste réellement qu'après 2020. Les politiques climatiques se traduisant par une valeur du carbone modérée (30\$/t en 2030, 50\$ en 2050) n'ont pas un impact significatif sur le système pétrolier.

Résultat-2

- Face à des politiques climatiques très ambitieuses, les pays exportateurs de pétrole ne pourraient compenser que très partiellement la dégradation de leurs revenus en modifiant leur stratégie pétrolière dans le sens d'une exploitation plus intensive de leur base de ressources. (Plus la contrainte carbone est forte, moins cette stratégie est efficace.)



Résultat-3

- Si les pays du Moyen-Orient ne sont pas en mesure d'augmenter significativement leurs capacités de production au cours des 25 prochaines années, il est dans leur intérêt que des politiques climatiques très ambitieuses soient mises en œuvre : la demande sera plus faible mais il n'y aura pas de choc pétrolier aux conséquences catastrophiques pour les producteurs.



Résultat-4

- Une modélisation en jeu hiérarchisé tend à montrer que la réponse des pays producteurs à l'introduction d'une taxe mondiale sur le contenu de carbone ne consistera pas en une baisse importante du prix mondial du pétrole.



Résultat-5

- Une représentation des négociations post-Kyoto est possible sous la forme d'un jeu non-coopératif avec contraintes couplées représentant un objectif global de maintien d'un changement climatique acceptable ($DT < 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Une aire de négociation peut alors être définie, selon une pondération relative des pays en voie de développement PVD et des protagonistes de l'UE et du reste de l'OCDE. Des évolutions acceptables par les PVD basées sur la mise en œuvre de systèmes « cap and trade » régionalisés peuvent alors être identifiées.

GEMINI-E3 version 4

- Modèle d'Equilibre Général Calculable
- 21 pays/régions – 14 secteurs
- CO₂ et autres GHG décrits
- Année de Calibrage 1997 – GTAP
- Horizon 1997- 2050



Modèle POLES

- Modèle Équilibre Partiel sur le secteur de l'énergie
- 46 régions
- Description de bilans de l'énergie
- Importante base de données sur les technologies liées à l'énergie
- Description du marché pétrolier



Modèles ludiques

- Calculs d'équilibres de Stackelberg dans un jeu du pétrole avec stratégie de prix.
- Calculs d'équilibres de Nash sous contraintes couplées, avec gains évalués à l'aide de GEMINI-E3, par une méthode d'oracles.
- Solution de jeux extensifs , avec gains évalués à l'aide de GEMINI-E3.





Analyse: Effet d'un doublement du prix du pétrole, par rapport à 2005



LEPII

ORDECSYS

Journées du GICC - 27 et 28 mai
2008

Choc pétrolier et politique de changement climatique

- Evaluation d'une multiplication par 2 du prix pétrole par rapport au prix de 2005
- Enseignements
 - L'augmentation du prix du pétrole à un impact significatif sur les émissions de GHG



Impact d'un choc pétrolier sur les politique de changement climatique

- Mais cet impact est contrebalancé par des substitutions entre énergies -> rôle important de l'indexation du prix des énergies concurrentes (gaz, charbon) sur le pétrole
- Les répercussions au niveau des pays sont très différenciés et défavorables aux PVD importateurs net d'énergie
- Dans tous les cas cette solution est très coûteuse pour réduire les émissions de GHG et les répartitions des baisses d'émission sont inégalement réparties



A photograph showing a large, dark, cylindrical oil pipeline supported by several tall, rusted metal pillars. The pipeline is set against a clear blue sky, and the foreground is filled with tall, golden-brown grasses.

Analyse: Politique de prix optimale de l'OPEP en réaction à une taxe carbone

Coûts unitaires d'extraction

$$c_F^O(q_F^O) = C_F^O - \varphi \ln \left[\frac{\Delta - q_F^O}{\Delta} \right]$$

$$c_C^O(q_C^O) = C_C^O e^{\eta_C^O q_C}$$

$$c_F^O(2, q_F^O(2)) = C_F^O - \varphi \ln \left[\frac{\Delta(2) - q_F^O(2)}{\Delta(2)} \right]$$

$$\Delta(2) = \Delta(1) - \beta q_F^O(1).$$

Lois de demande induites de G-E3



$$\ln[D_i^j] = \ln[\omega_i^j] + \sum_{k \in J} \varepsilon_i^{jk} \ln[P_i^k], i \in I, j \in J.$$

ln omega_j^i

OECD-EU	Oil	9.51027949
OECD-EU	Gas	7.26484823
OECD-EU	Coal	5.98820697
Rest-OECD	Oil	8.76616739
Rest-OECD	Gas	7.9509238
Rest-OECD	Coal	6.37896901
Non-OECD	Oil	8.60130917
Non-OECD	Gas	7.7722176
Non-OECD	Coal	6.74331374

OECD-EU Oil	OECD-EU Gas	OECD-EU Coal	Rest-OECD Oil	Rest-OECD Gas	Rest-OECD Coal	Non-OECD Oil	Non-OECD Gas	Non-OECD Coal
-0.7784792	0.0463956	0.0165584	0	0	0	0	0	0
0.0548728	-0.8114807	0.0907509	0	0	0	0	0	0
0.1890045	0.4298885	-0.883495	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-0.5378666	0.0250693	0.0113469	0	0	0
0	0	0	0.0878962	-0.8330412	0.1692458	0	0	0
0	0	0	0.1788328	0.4413531	-0.7790832	0	0	0
0	0	0	0	0	0	-0.590676	0.0494407	0.040446
0	0	0	0	0	0	0.3689892	-0.9642831	0.1513135
0	0	0	0	0	0	0.3781276	0.1818343	-0.9556531



Total Oil	3093.65591
Total Gas	1513.72341
Total Coal	1873.94528

3093.655912
1135.292555
2323.692146

Total fossil fuel	6481.3246	Total Carb.	6552.640614
-------------------	-----------	-------------	-------------

OIL								
Production cost, quantities resulting from market clearance.								
	C0	eta	q	C0*exp(eta*q)	MC	%Market	Wealth-OPEC	
OPEC		3.32	0.00001	1333.25997	3.364560625	3.40941897	0.43096582	129762.6748
Fringe		5.5	0.00076	1760.39594	5.501612655	16.6692108	0.56903418	
Deposit		2000						

GAS						
Production cost, quantities resulting from market clearance.						
	C0	eta	q	C0*exp(eta*q)	MC	
OECD-EU		7	0.00122	241.009533	9.392784412	12.1545601
Rest-OECD		5.45	0.00088	605.900177	9.288785055	14.2414924
Non-OECD		5.53	0.00017	666.813697	6.193783601	6.89590056

Taxes

	CO2-tax	0	
Coeff. Carbone de la tep	1	0	Oil
	0.75	0	Gas
	1.24	0	Coal

Taxes+dist-costs			
	OECD-EU	Rest-OECD	Non-OECD
Oil	49.13	12.72	-1.98
Gas	3.99	0.05	6.08
Coal	6.49	0.33	-4.79

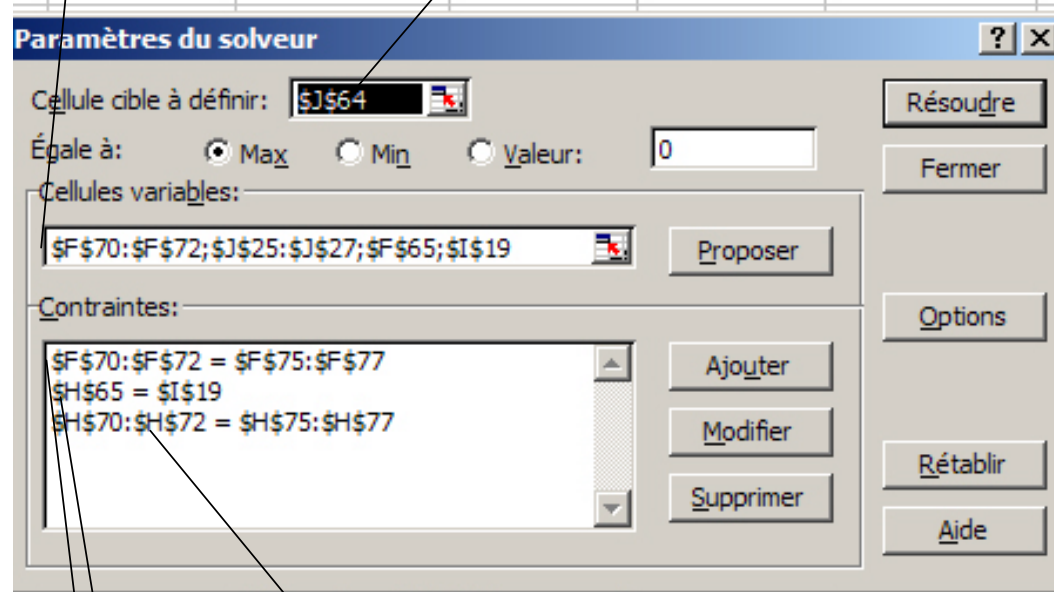
Producer price	\$/boe			
		Oil	Gas	Coal
OECD-EU		16.6692109	12.15456012	8.8
Rest-OECD		16.6692109	14.24149238	8.8
Non-OECD		16.6692109	6.895900557	8.8



LEPII

On détermine:
 - les quantités de gaz
 - les prix du gaz
 - la quantité produite par la CF

On cherche à maximiser la fortune de l'OPEP



Sous les contraintes:
 - Les coûts marginaux de production du gaz sont égaux aux prix producteurs dans chaque région.

Sous la contrainte:
 - Le coût marginal de la CF est égal au WPO

Sous les contraintes:
 - les quantités de de gaz sont égales à la demande dans chaque région





Taxe-C/baril	Taxe-C/tC	Prix Pétrole	Part de marché OPEP	Revenu-OPEP	Total énergie	Total émissions C	%-réduction
0	-	100	43%	129,763	6,481	5,701	-
5	42	104.32	36%	104,504	5,418	4,637	18.66
10	83	101.80	32%	84,164	4,909	4,163	26.98
15	125	96.04	30%	67,942	4,562	3,853	32.41
20	167	88.00	28%	55,066	4,299	3,624	36.43
25	208	78.04	28%	45,017	4,088	3,444	39.59
30	250	65.75	30%	37,471	3917	3299	42.14

Taxe-C/baril	Taxe-C/baril	Prix Pétrole	Prix Pétrole-	Part de	%-réduction	%-réduction
Période-1	Période-2	Pér. 1	Pér. 2	marché OPEP	Pér. 1	Pér. 2
		100	144			
0	5	105	146	42%	0%	21%
5	10	103	144	36%	19%	30%
10	15	98	139	31%	27%	35%
15	20	104	144	28%	33%	39%
5	15	104	140	36%	19%	35%
5	20	103	144	36%	19%	39%
10	15	103	140	31%	27%	35%
10	20	98	134	31%	27%	39%
15	25	91	133	28%	33%	42%
20	25	82	115	26%	37%	42%
25	35			25%	40%	47%



LEPII

ORDECSYS

Journées du GICC - 27 et 28 mai
2008



Analyse : Jeu hiérarchisé de négociations climatiques



LEPII

ORDECSYS

Journées du GICC - 27 et 28 mai
2008

Jeu de la négociation

- l'OPEP joue : Les pays producteurs choisissent un niveau de prix du pétrole en 2000-2025;
- Les PVD jouent : Les PVD définissent leurs quotas de réduction pour 2000-2025; Jeu simultané avec les PID;
- Les USA et PID jouent : Ces pays définissent leurs quotas de réduction pour 2000-2025; Jeu simultané avec les PVD;
- Nous supposons que la sensibilité du climat est imparfaitement connue en période 2000-2025, mais que la vraie valeur de la sensibilité est révélée à partir de 2025, les quotas sont déterminés par la sensibilité du climat et la réduction déjà effectuée en période 2000-2025.



PID	PVD	OPEP
USA	Asie	Moyen Orient
Russie	Chine	
Europe	Brésil	
Canada	Amérique Latine	
Australie	Afrique	
Nouvelle-Zélande	Mexique	
Japon		

Trois groupes de nations (joueurs)

	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050
GDP (TCAM)				
PID	2.7%	2.4%	1.8%	1.8%
PVD	4.7%	4.1%	3.6%	3.5%
OPEP	3.6%	3.2%	2.6%	2.5%
Monde	3.2%	2.9%	2.4%	2.4%
GHG (TCAM)				
PID	1.0%	0.8%	0.5%	0.6%
PVD	2.8%	2.0%	1.9%	1.7%
OPEP	2.0%	0.9%	0.6%	1.0%
Monde	1.9%	1.4%	1.3%	1.3%

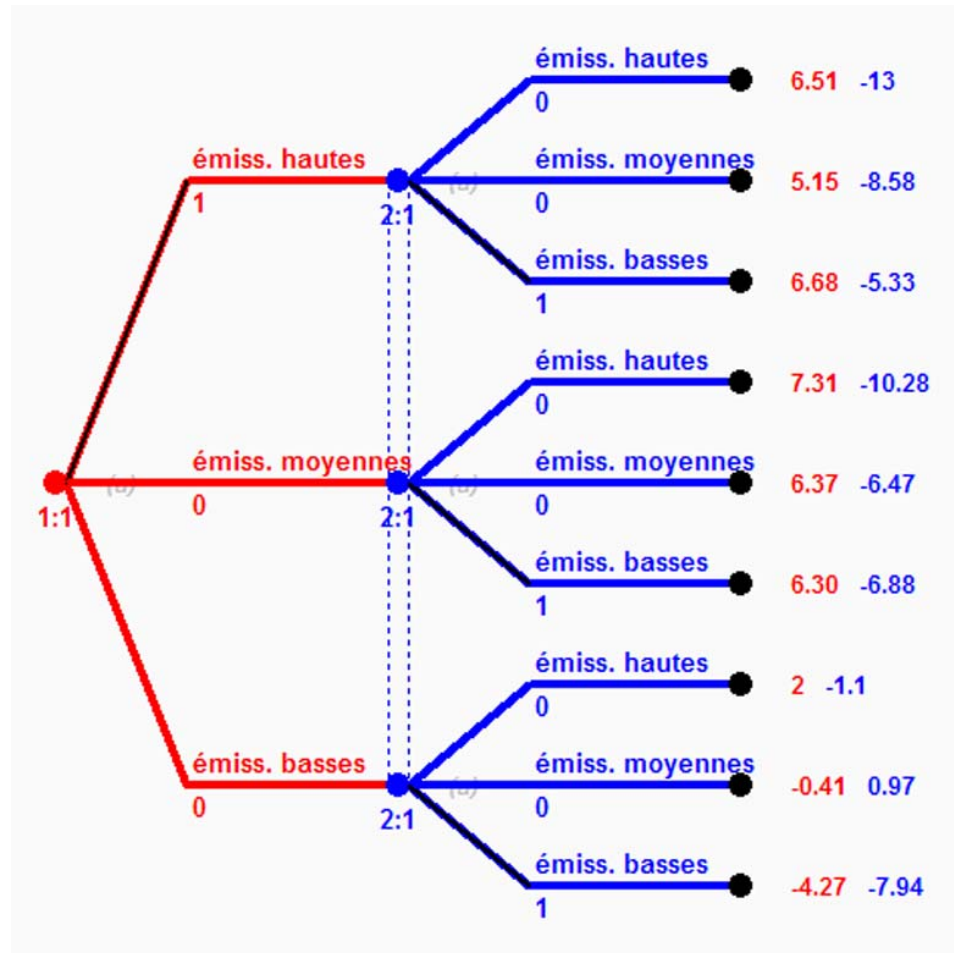
PIB et émissions de gaz à effet de serre en TCAM (Taux de croissance annuel moyen)

SC	Concentrations cibles	Quotas totaux	probabilité
faible	500 ppmv	450 GTC	0.25
moyenne	600 ppmv	500 GTC	0.50
forte	700 ppmv	650 GTC	0.25

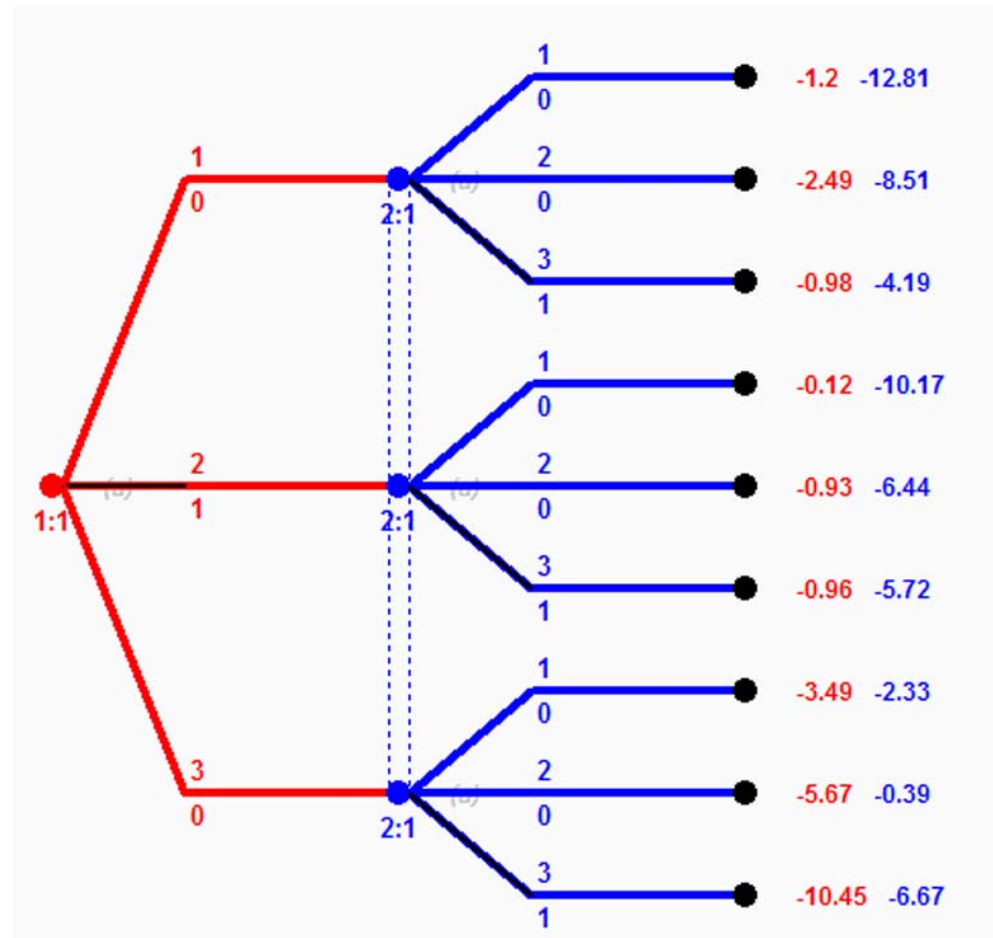
	2010	2030	2050
GHG			
PID	4943	5886	6591
PVD	4733	7622	10978
OPEP	571	763	895
Monde	10247	14271	18464
CO₂			
PID	3862	4717	5487
PVD	2806	4935	7182
OPEP	410	549	670
Monde	7079	10200	13339
CH₄			
PID	618	624	572
PVD	1141	1552	2194
OPEP	114	140	140
Monde	1872	2315	2906
N₂O			
PID	337	371	347
PVD	707	983	1399
OPEP	39	58	65
Monde	1083	1412	1811
Gaz fluorés			
PID	126	175	185
PVD	78	152	202
OPEP	8	16	20
Monde	213	344	407

Émissions GES dans scénario de référence

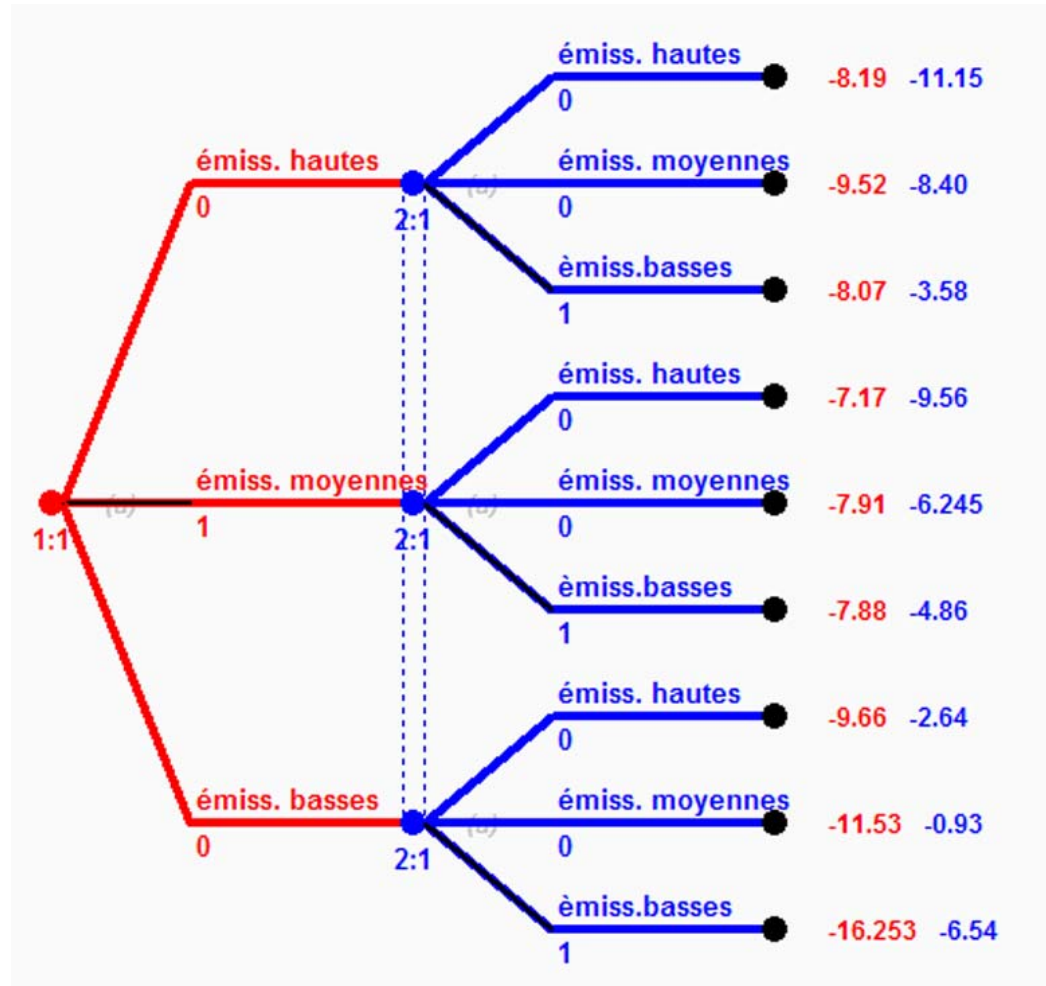
Prix du pétrole - bas



Prix du pétrole - moyen



Prix du pétrole - haut



Résultats d'équilibres 50/50

Acteur / Prix	Bas	Moyen	Haut
OPEP	-3.23	-0.50	0.77
PID	6.68	-0.96	-7.88
PVD	-5.33	-5.72	-4.86

Résultats des calculs d'équilibres (1000 milliards de \$). Répartition 50-50

Résultats d'équilibre – 60/40

Acteur / Prix	Bas	Moyen	Haut
OPEP	-3.23	-0.22	1.02
PID	-0.01	-6.00	-12.22
PVD	4.06	2.00	0.98



Publications

1. Drouet L., Haurie A., Moresino F., Vial J.-P., Vielle M. and Viguier L., *An oracle based method to compute a coupled equilibrium in a model of international climate policy*, **Computational Management Science**, Vol. 5, 2008 pp. 119-140.
2. Haurie A., F. Moresino and L. Viguier, *A Two-level Differential Game of International Emissions Trading*, **Annals of the International Society of Dynamic Games**, Vol. 8 pp 309-332, 2006.
3. Haurie A. et Vielle M., *Le cartel du pétrole et les politiques climatiques mondiales : une analyse par la théorie des jeux*, chapitre de l'ouvrage collectif édité par R. Kaufmann-Hayoz et Paul Bürger, 15 Jahre nach Rio-Der Nachhaltigkeitsdiskurs in den Geistes-und Sozialwissenschaften-leistungen-Defizite », Académie Suisse des sciences, 2007.
4. Vielle M. et Viguier L. (2006) *Choc pétrolier et changement climatique*, **Revue de l'énergie**, N°569, Janvier-février, p5-11.
5. Vielle M. and Viguier L. *On the climate change effects of high oil prices*, **Energy Policy** Vol. 35, Issue 2, pp 844-849, February, 2007.





Ont participé

Alain Bernard, Ingénieur général des Ponts, Ministère de l'Équipement.

Patrick Criqui, Responsable du Département Énergie et Politiques de l'Environnement (Lepii-EPE), Université Pierre-Mendès-France Grenoble II.

Alain Haurie, Professeur (hon.), HEC, Université de Genève. Directeur ORDECSYS.

Pierre Noël (responsable scientifique), Chercheur au Electricity Policy Research Group (EPRG), University of Cambridge (Royaume-Uni) ; anciennement responsable du programme Énergie et Relations Internationales à l'Institut Français des Relations Internationales (IFRI).

Marc Vielle, CEA-LERNA, Université des Sciences Sociales, Toulouse.

Laurent Viguié, REME, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, et Joint Center on the Science and Policy of Global Change, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, Etats-Unis.



LEPII

ORDECSYS

Journées du GICC - 27 et 28 mai
2008