

Simulation de stratégies de négociation post-Kyoto dans un régime climatique international fragmenté

KANLO



Un projet de recherche soutenu par le programme GICC

ORDECSYS

OBJECTIFS

KANLO



- Ce programme de recherche vise à simuler les évolutions possibles des politiques de réduction des émissions de GES dans une perspective post-2012 en tenant compte des interactions stratégiques entre les parties (pays regroupés en régions, par exemple: pays de l'OCDE, PVD, pays producteurs d'énergie fossile).
- La méthodologie met en œuvre un modèle technico-économique mondial (TIAM avec 15 régions) et un modèle d'équilibre général calculable (GEMINI-E3), dans un cadre d'optimisation à plusieurs agents (théorie des jeux) pour simuler des évolutions possibles des politiques de réduction des émissions de GES.

ORDECSYS

« Délivrables »

KANLO



1. un couplage entre le modèle mondial de choix énergétiques TIMES à 15 régions et GEMINI-E3 ;
2. une méthodologie pour représenter les actions stratégiques des pays détenteurs de ressources pétrolière, gazière ou de charbon ;
3. une méthodologie pour représenter des engagements de limitation des émissions, par région, qui soient stables et équitables, compte tenu de la formation possible de coalition régionales et la mise en place de marchés internationaux (ou régionaux) de droits d'émission ;
4. des scénarios correspondant à différentes règles de distribution des efforts de réduction des émissions ;
5. une évaluation des effets des politiques climatiques sur le développement des PVD.

ORDECSYS

TIAM

KANLO



- Un modèle d'équilibre partiel avec un module climatique intégré.
- 15 régions dans le monde.
- Description de nombreuses technologies à toutes les étapes de la chaîne énergétique.
- Elasticité-prix des demandes de services énergétiques.

ORDECSYS

GEMINI-E3 version 5

KANLO



- Modèle d'Equilibre Général Calculable
- 28 pays/régions – 18 secteurs
- CO₂ et autres GHG décrits
- Année de Calibrage 2001 – GTAP 2006
- Horizon 2001- 2050

ORDECSYS

Jeux incertitude et oracles

KANLO



- Modèle de contrôle stochastique pour étudier le tempo des réductions d'émissions.
- Jeux dynamiques avec incertitude représentée par des arbres d'événements.
- Calcul d'équilibre par résolution d'inégalités variationnelles par des méthodes d'oracle.

ORDECSYS

Stabilité des traités environnementaux-1

KANLO



- Un traité environnemental stable doit avoir la propriété d'être un équilibre au sens de la théorie des jeux. C'est à dire que différents groupes de nations, considérés globalement comme des joueurs, doivent trouver que leur meilleur intérêt économique est de se conformer au traité négocié.
- L'évaluation économique peut se faire à partir d'une analyse des coûts de la réduction des émissions et les modèles « bottom-up » comme TIAM sont particulièrement bien adaptés à cela, ou à partir d'une évaluation plus macro-économique des variations de bien-être dans les régions concernées et les modèles « top-down » comme GEMINI-E3 sont adaptés à cette évaluation.

ORDECSYS

Stabilité des traités environnementaux-2

KANLO



- Les simulations que nous entreprendrons en 2008 seront donc basées sur des modèles de jeux, où les joueurs correspondront à différentes coalitions de nations correspondant à la fragmentation du régime international après Kyoto et où les impacts économiques seront calculés à partir de modèles TIMES et GEMINI-E3 couplés.

ORDECSYS

Equilibres avec contraintes couplées-1

KANLO



- Un traité environnemental stable peut être défini comme un équilibre dans un jeu où tous les joueurs sont soumis à une même contrainte dite « couplée ». C'est à dire que le réchauffement climatique impose une contrainte sur l'ensemble des pays qui se trouvent être solidaires dans le maintien de conditions environnementales durables.
- Par exemple on peut considérer que toutes les nations de la terre sont implicitement liées par l'obligation de maintenir l'augmentation de température à moins de 2 degrés C d'ici 2100. La particularité des équilibres avec contraintes couplées tient au fait qu'un ensemble d'équilibres différents peuvent être obtenus selon la répartition définie a priori du partage du fardeau dans le respect de la contrainte.

ORDECSYS

Equilibres avec contraintes couplées-2

KANLO



- Ainsi on peut envisager une négociation où les étapes suivantes seraient franchies :
 1. définition d'un volume total d'émissions de GHG sur l'horizon 2100 pour rester compatible avec l'objectif de 2 °C ;
 2. répartition de ce volume total sur les différents groupes de nations constitutifs du régime fragmenté ;
 3. Établissement d'un système de quotas avec un tempo de réduction des émissions qui respecte le volume total imparti à chaque groupe de nations ;
 4. Établissement d'un ou plusieurs marchés internationaux de droits d'émissions ou mécanismes de développement propre.
- L'accord sera stable si, après l'établissement des transactions sur les marchés de droits d'émissions, chaque groupe de nations considère que son système de quota est la meilleure réponse à celui établi par les autres groupes de nations.

ORDECSYS

Premiers résultats-1

Analyse: tempo des réductions dans l'incertitude

KANLO



- Incertitude sur la sensibilité du climat
- Incertitude sur l'accès à une économie « sans carbone »
- Contraste entre les politiques
 - Réduire tout de suite
 - Attendre d'avoir accès à l'économie sans carbone.

ORDECSYS

Modélisation

KANLO

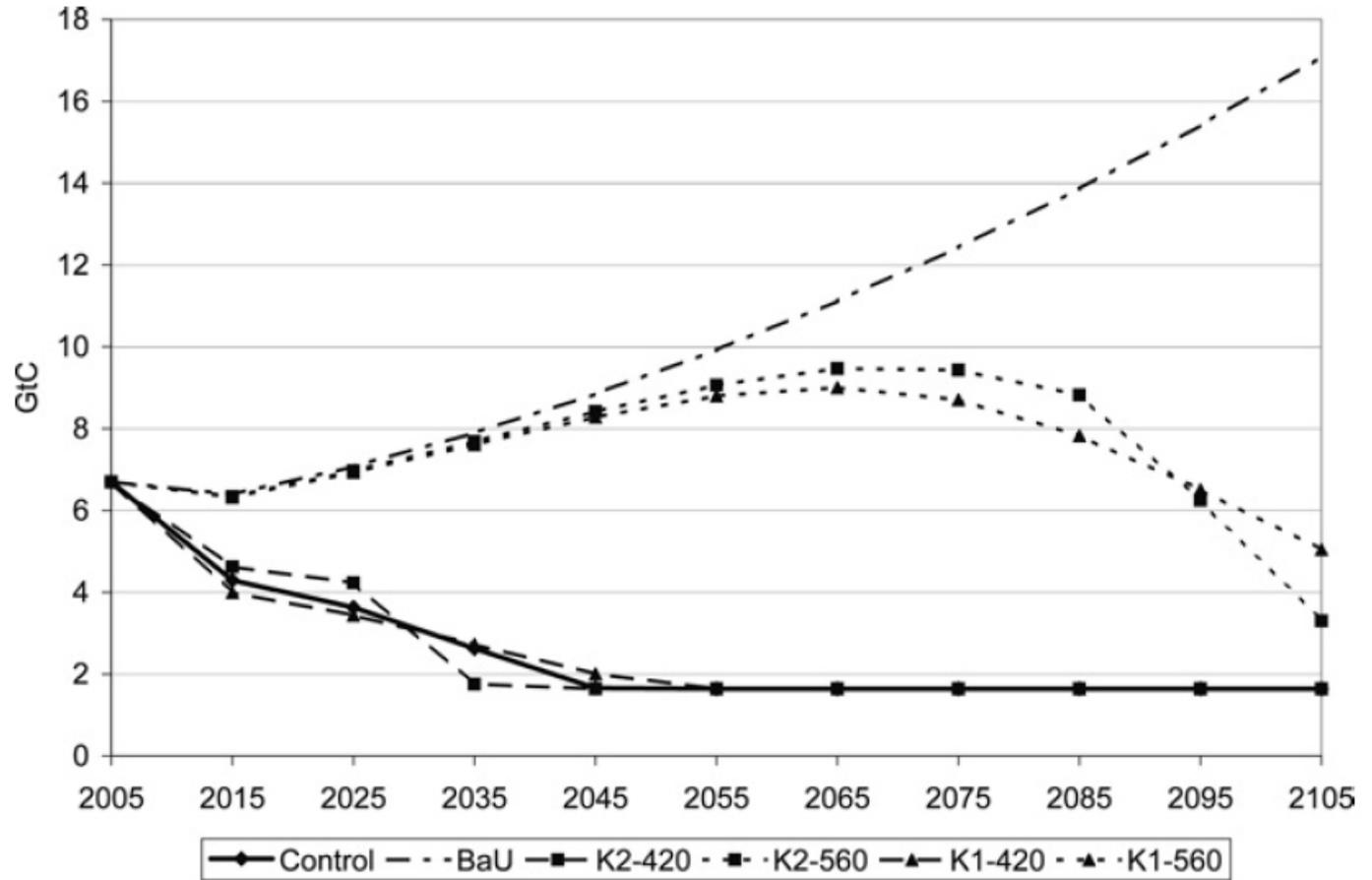


- Vue globale agrégée, proche du modèle de Nordhaus.
- Description d'une économie duale (avec et sans carbone)
- Incertitude représentée par des processus de saut contrôlés
- Méthode du contrôle stochastique.

ORDECSYS

Emissions

KANLO

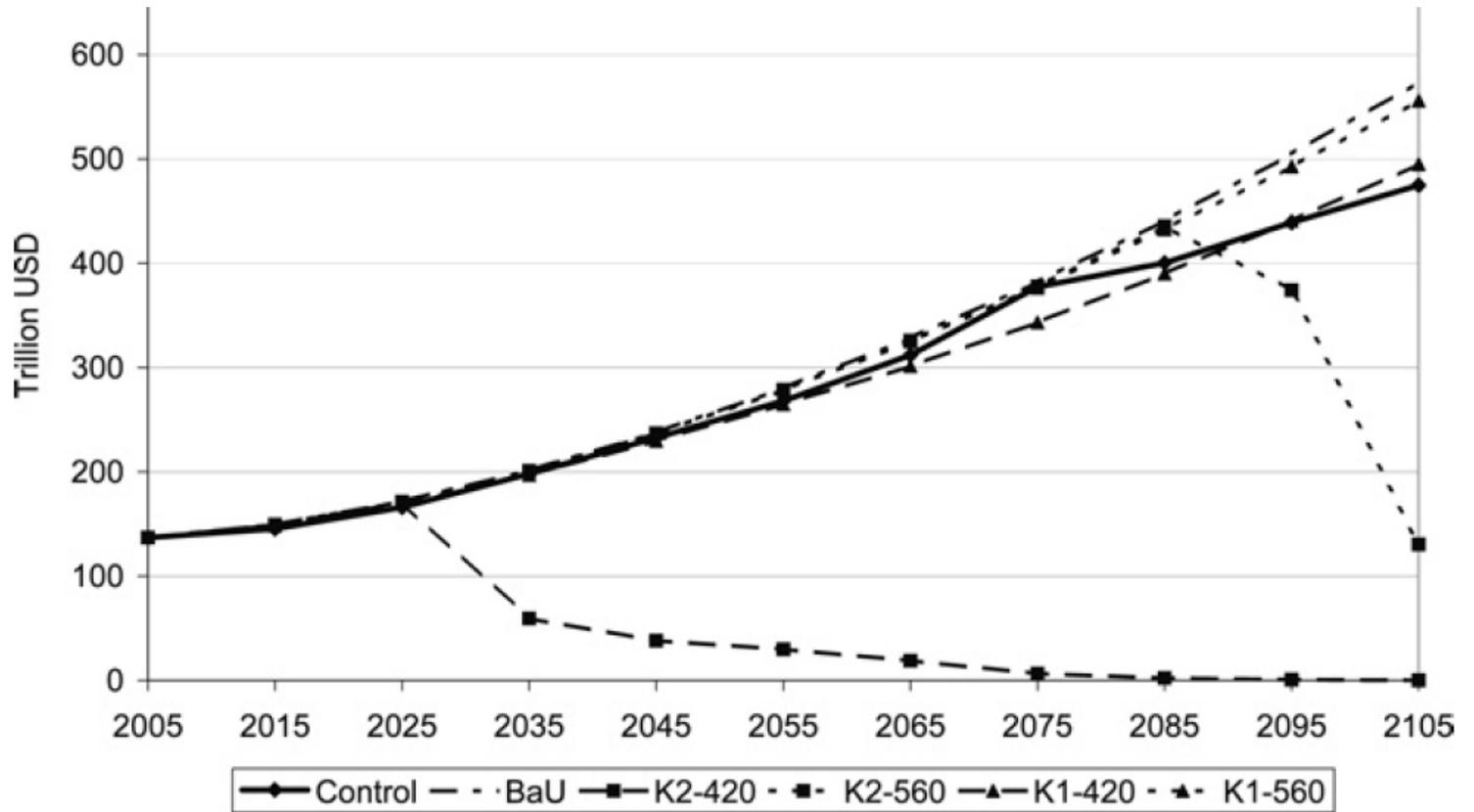


ORDECSYS

Journées du GICC - 27 et 28 mai 2008

Capital usuel

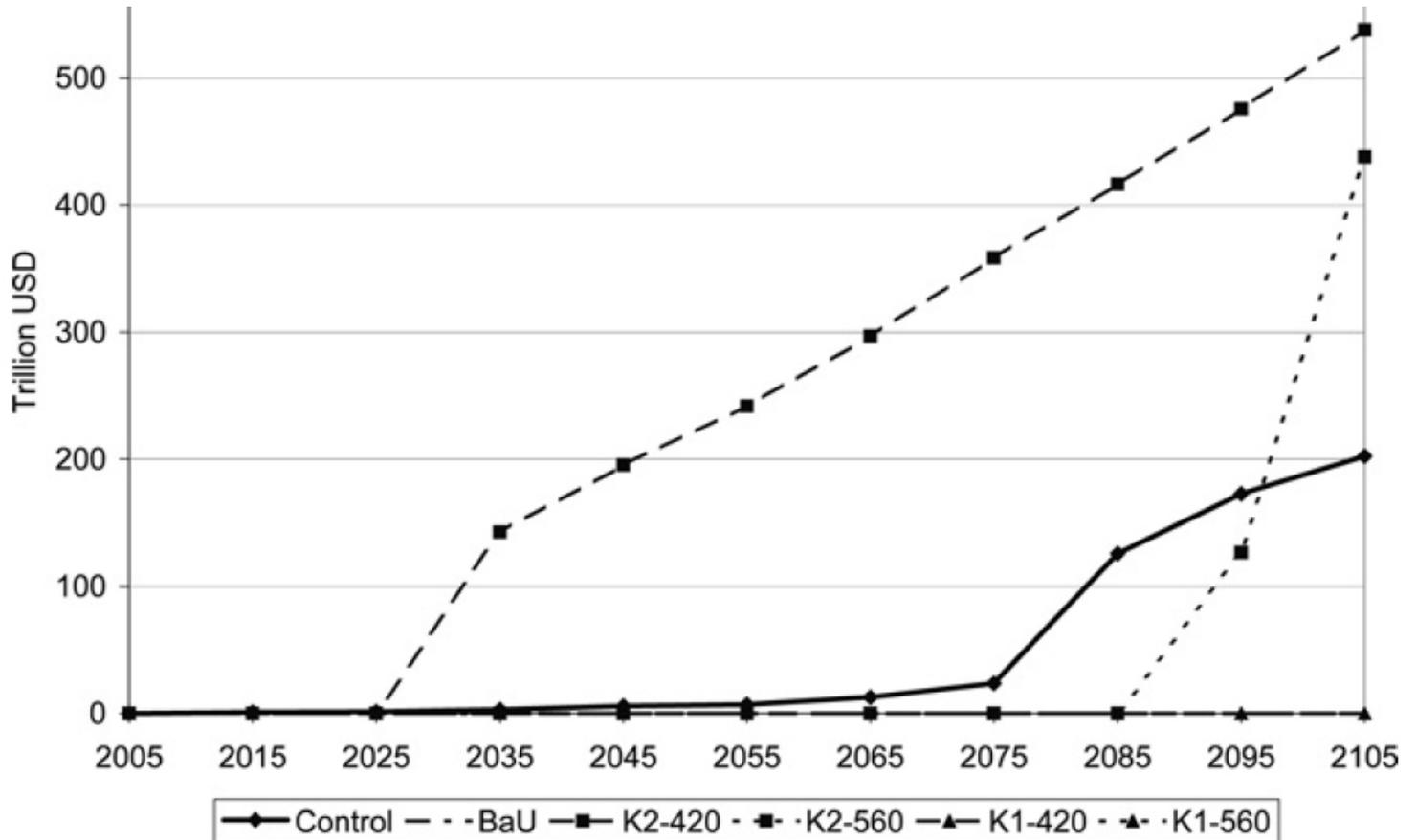
KANLO



ORDECSYS

Capital « propre »

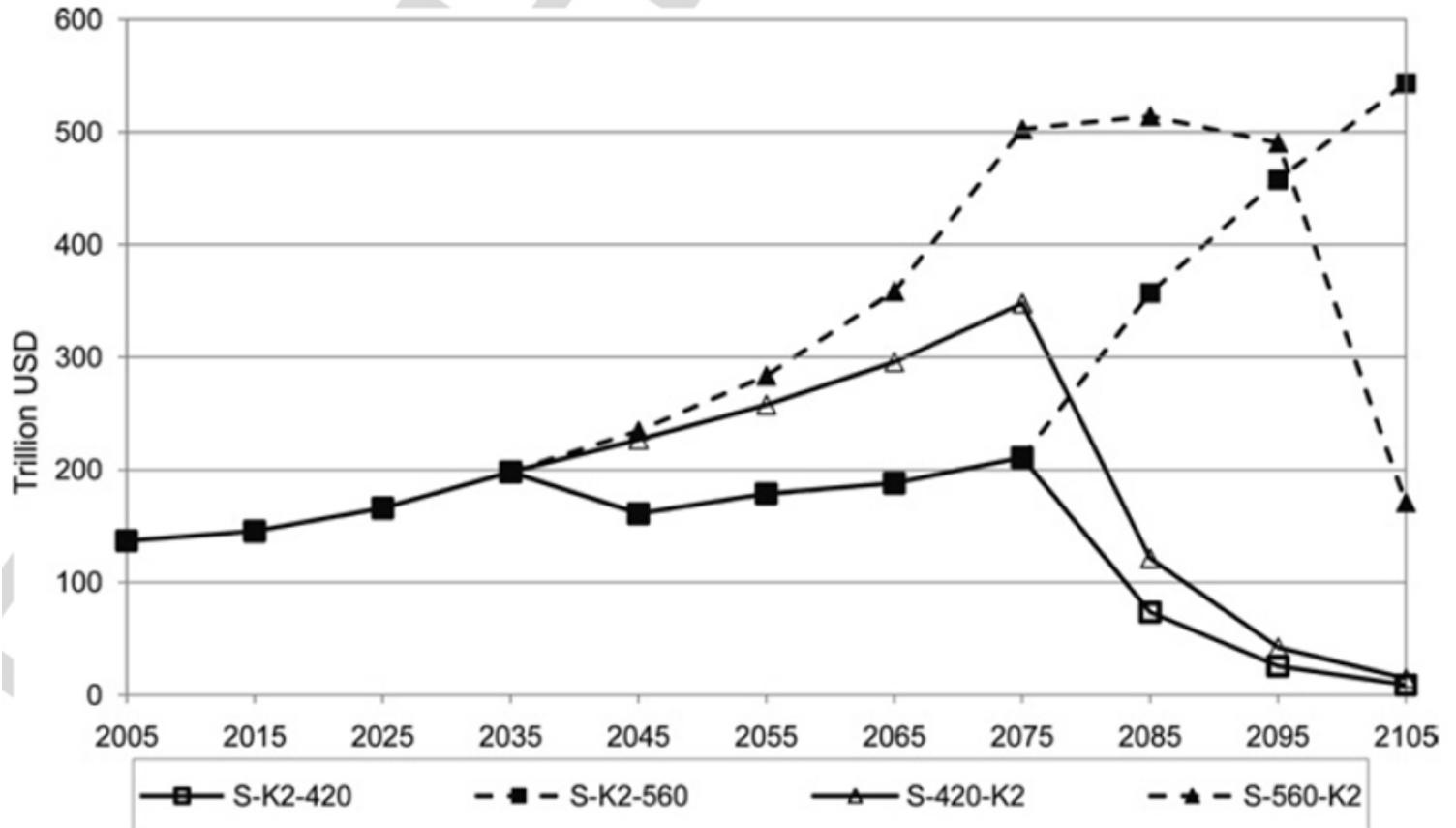
KANLO



ORDECSYS

Simulation-K1

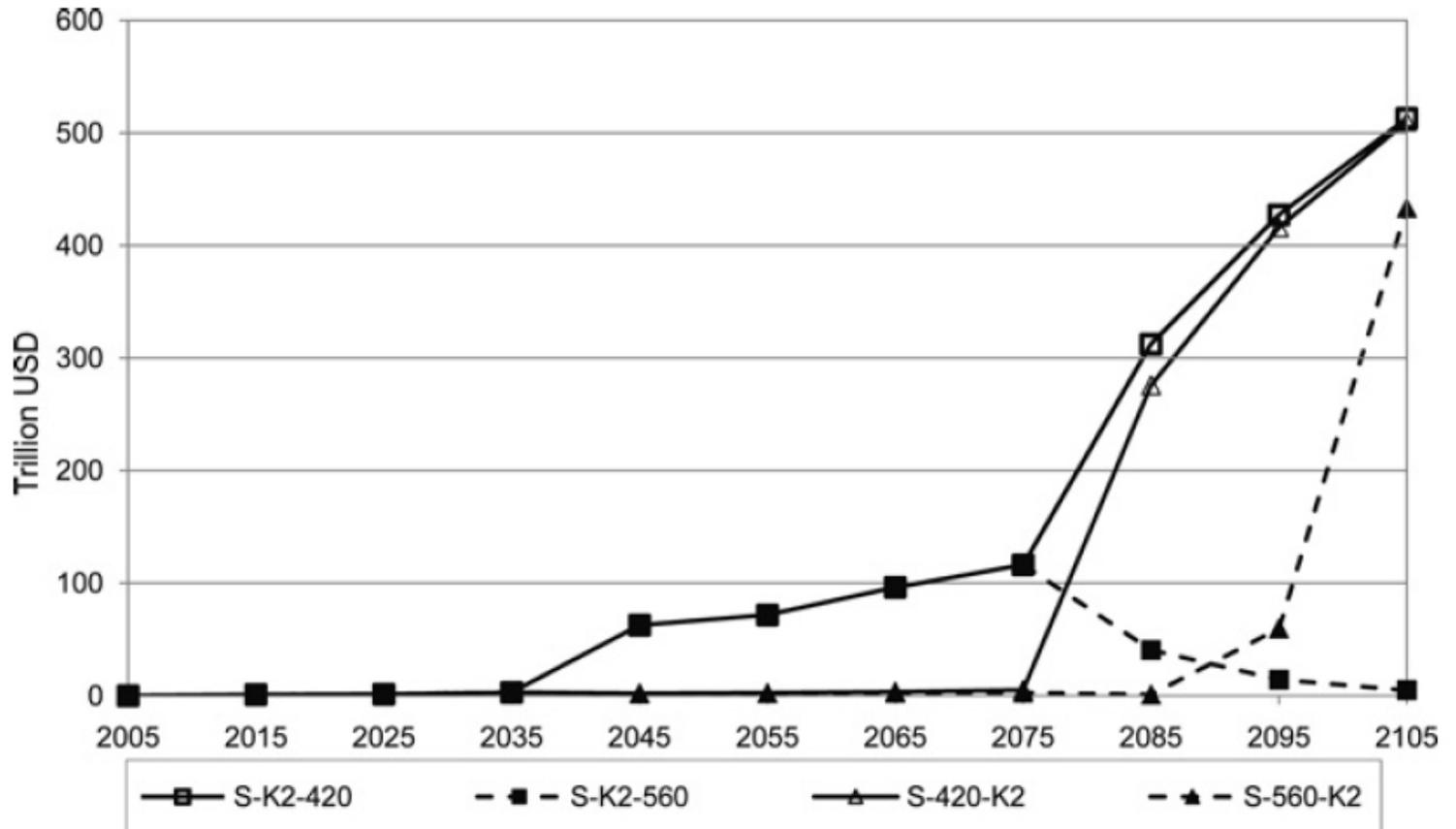
KANLO



ORDECSYS

Simulation-K2

KANLO



ORDECSYS

Premiers résultats-2

KANLO

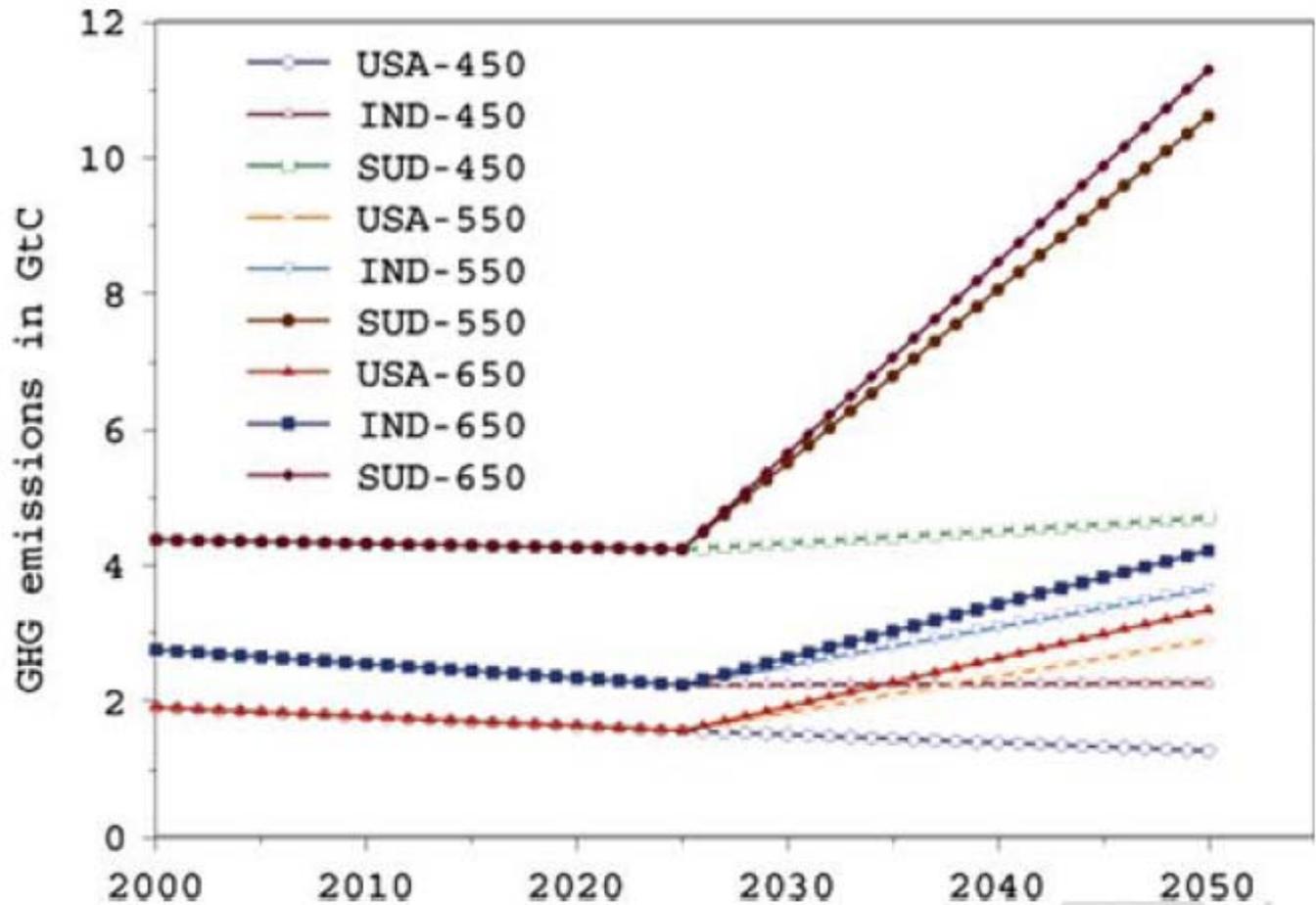


- On peut formuler un jeu dynamique avec incertitude et contrainte « couplée » sur les émissions totales sur l'horizon considéré.
- Les groupes de pays constituant les différents joueurs dans un régime fractionné choisissent des « allocations » de droits d'émission qui sont en équilibre et satisfont la contrainte climatique.
- Les gains des « joueurs » sont évalués à l'aide de GEMINI-E3

ORDECSYS

Effet de l'incertitude

KANLO



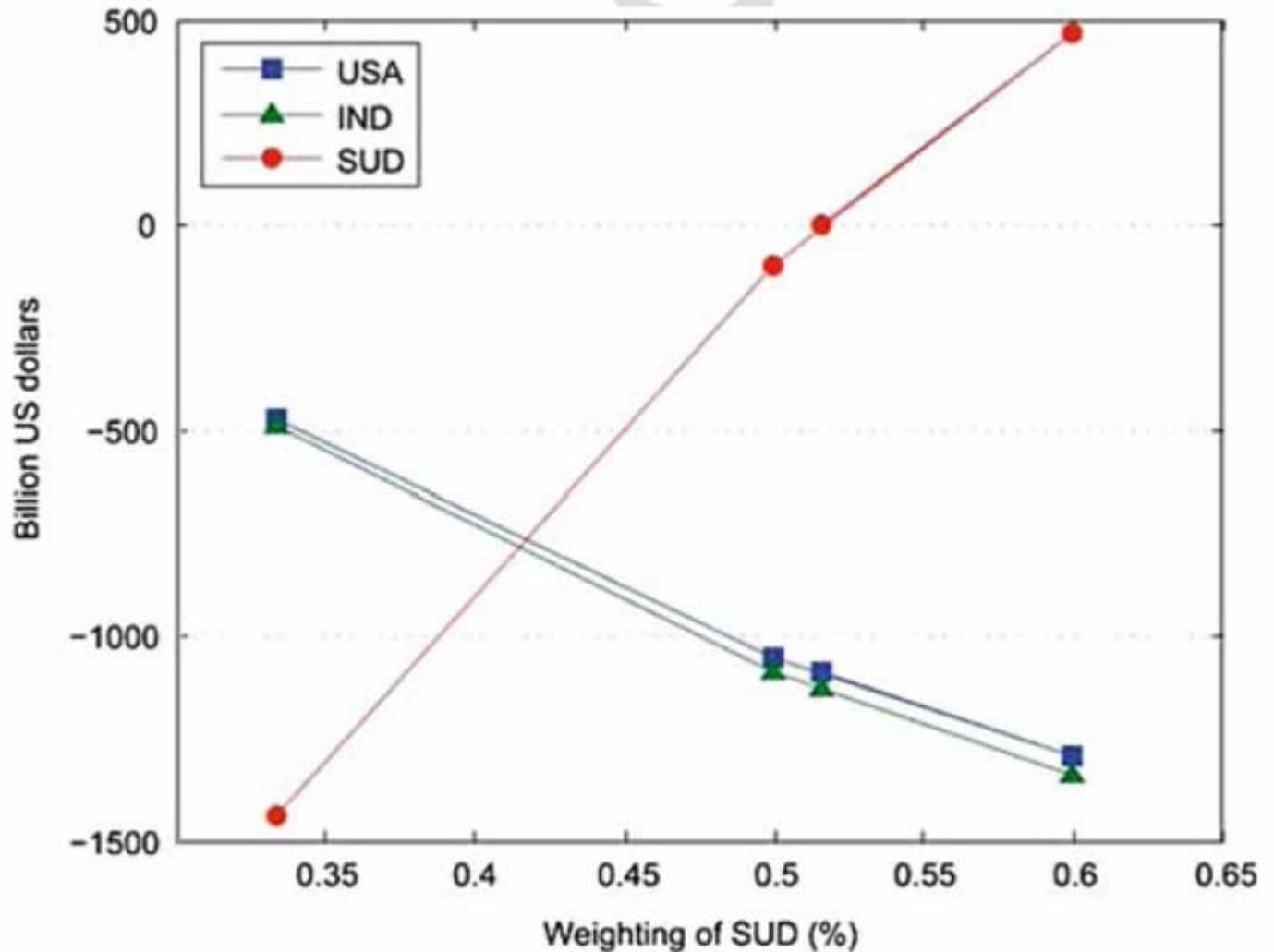
ORDECSYS

Effet de la pondération

KANLO



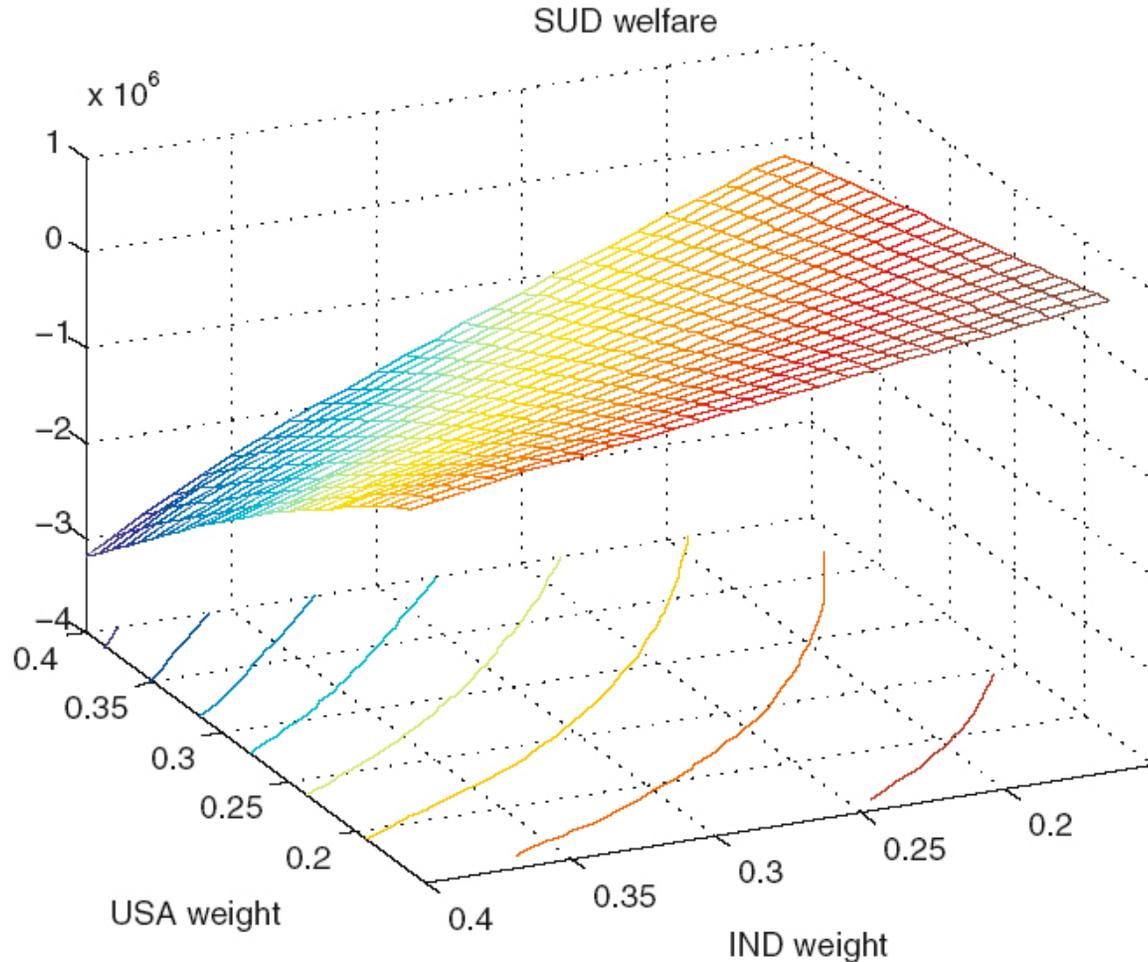
ORDECSYS



Journées du GICC - 27 et 28 mai 2008

Variété de solutions d'équilibre

KANLO



Journées du GICC - 27 et 28 mai 2008

ORDECSYS

Premiers résultats -3

KANLO



- La participation de la Chine, de l'Inde et du Brésil est nécessaire dès les premières périodes d'engagement.
- Il est donc impérieux de les intégrer dans un accord de limitation des gaz à effet de serre.
- Les jeux que nous avons simulés montrent qu'un accord impliquant les pays en voie de développement peut être obtenu par la mise en place d'un marché des quotas d'émission et grâce à un partage du fardeau des réduction de gaz à effet de serre en leur faveur.
- Les pays producteurs de pétrole auront aussi une possibilité d'action stratégique

ORDECSYS

Analyse: Leadership OPEC

KANLO



- L'OPEP détermine des quotas de production de pétrole brut sur tout l'horizon
- Les autres producteurs et les consommateurs de pétrole optimisent leur système (le prix du pétrole est alors révélé)
- L'OPEP calcule alors son profit et retourne en 1. avec une nouvelle série de quotas. STOP si stratégie est optimale.

ORDECSYS

Deux scénarios de base

KANLO



1. OPEC-100 : pas de contrainte climatique. Pas de comportement de cartel.
2. OPEC-CLIM-100 : contrainte sur le « Forçage » de 3.5 W/m^2 . Pas de comportement de cartel.

ORDECSYS

KANLO



Résultats OPEC-100

ORDECSYS

Journées du GICC - 27 et 28 mai 2008

6 trajectoires de quotas de production

KANLO



1. 100% : quotas du scénario de base (marché concurrentiel du pétrole)
2. 40% : les quotas sont **diminués** de 60%
3. 50% : les quotas sont **diminués** de 50%
4. 60% : les quotas sont **diminués** de 40%
5. 70% : les quotas sont **diminués** de 30%
6. 80% : les quotas sont **diminués** de 20%
7. 90%: les quotas sont **diminués** de 10%
8. 110%: : les quotas sont **augmentés** de 10%

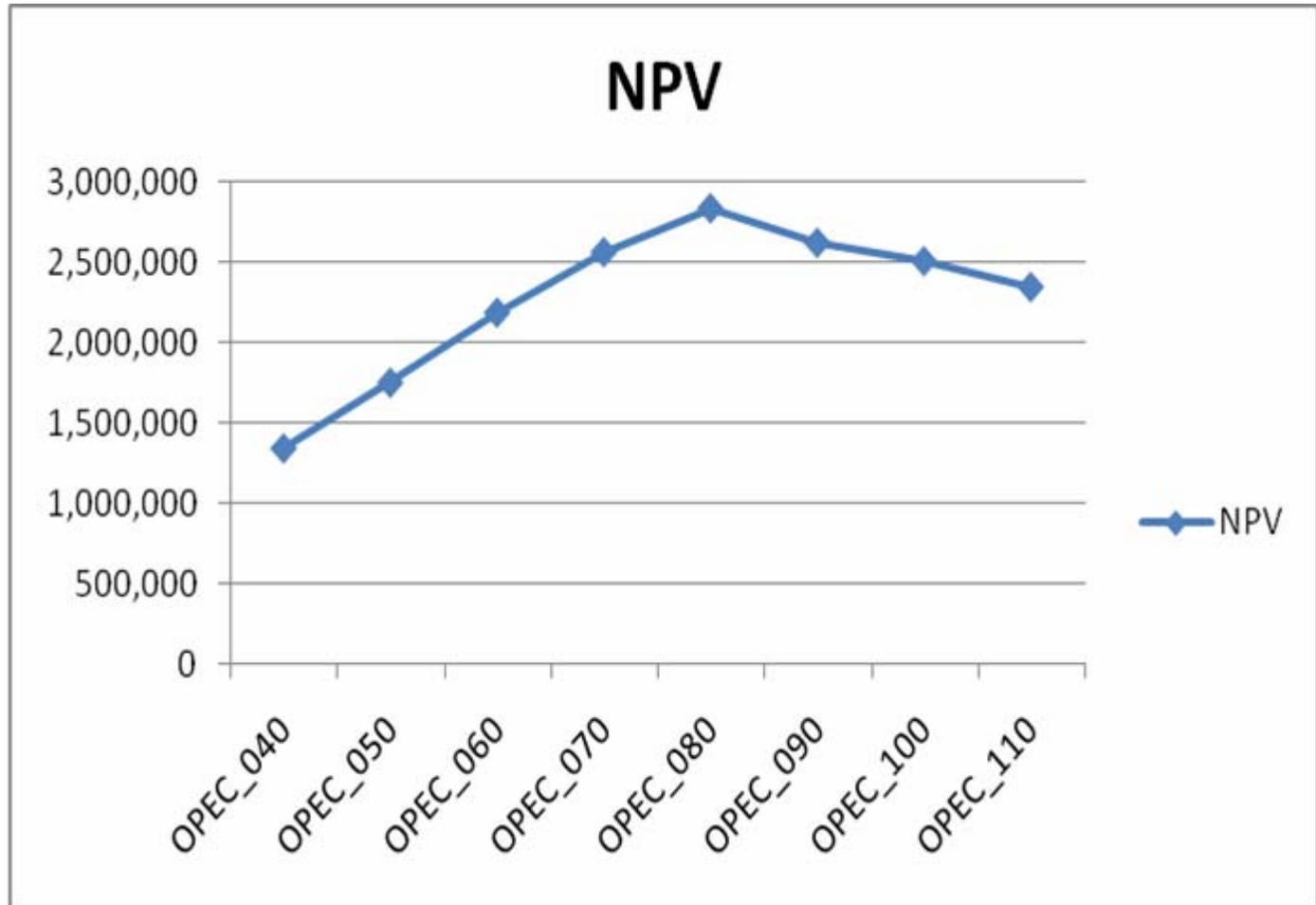
ORDECSYS

Gains de l'OPEP (NPV en Millions de \$)

KANLO



ORDECSYS



Journées du GICC - 27 et 28 mai 2008

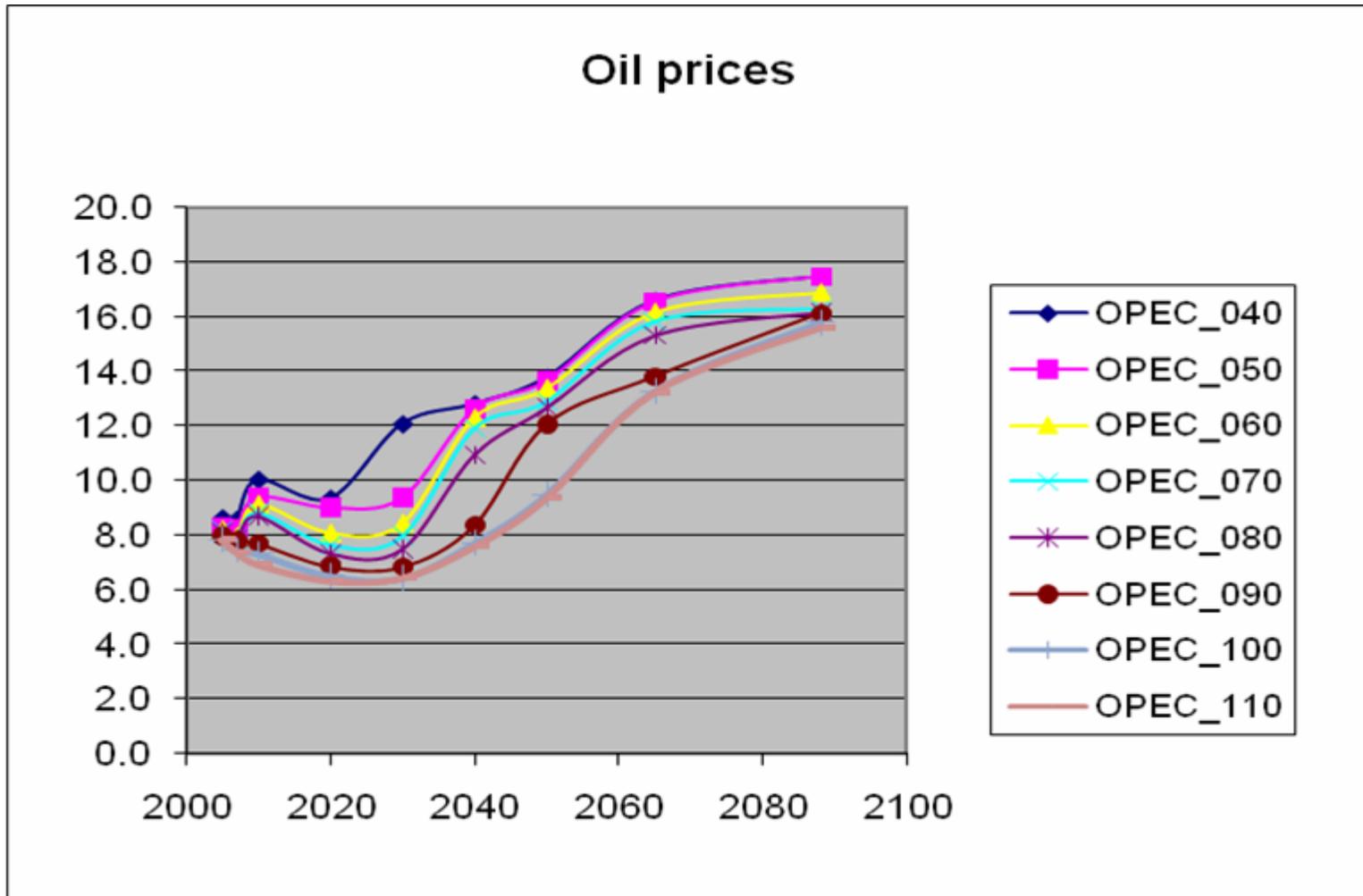
Prix du pétrole révélés

(en \$ par GJ, pour convertir en \$/bbl, multiplier par 6.4)

KANLO

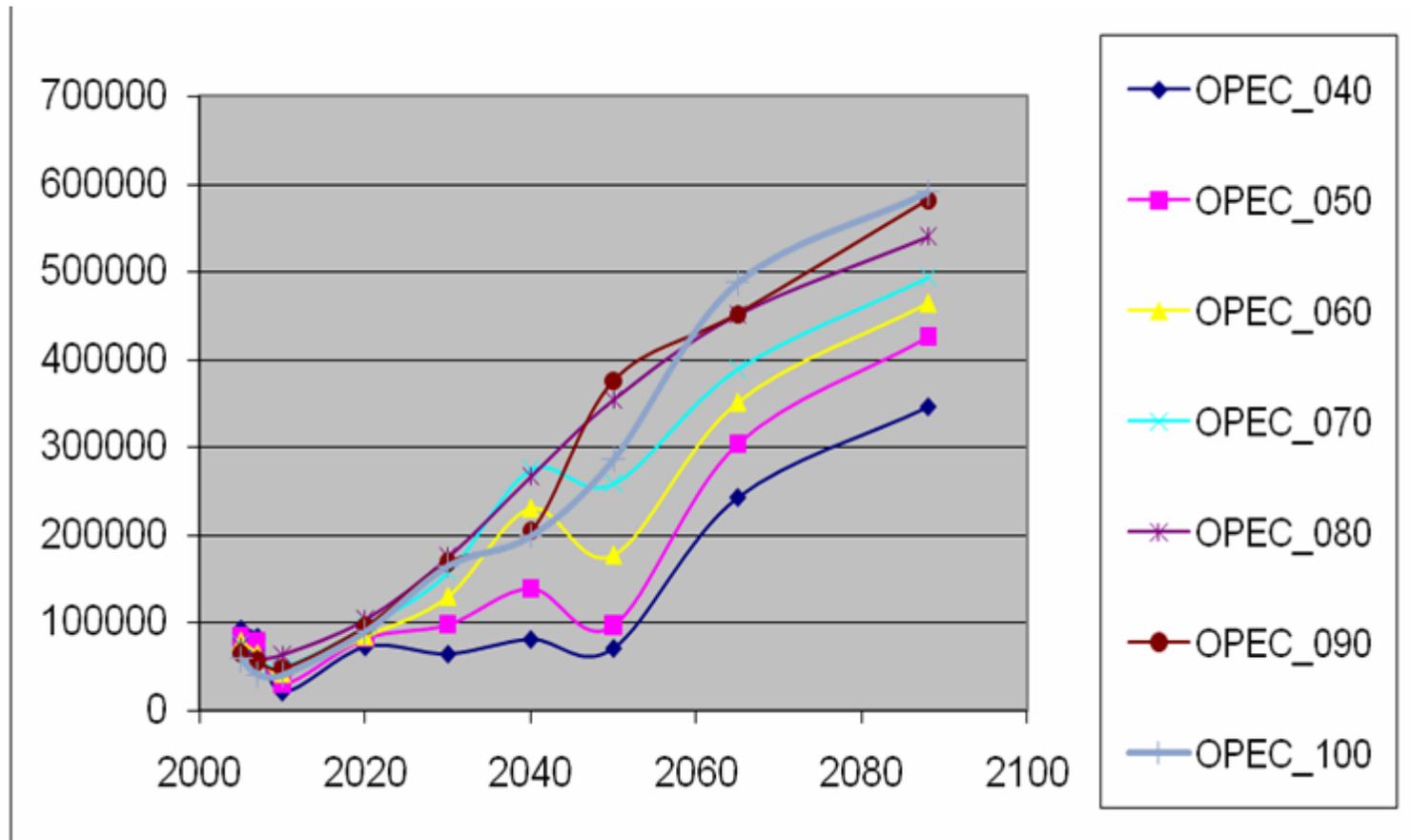


ORDECSYS



Gains annuels OPEP par période

KANLO



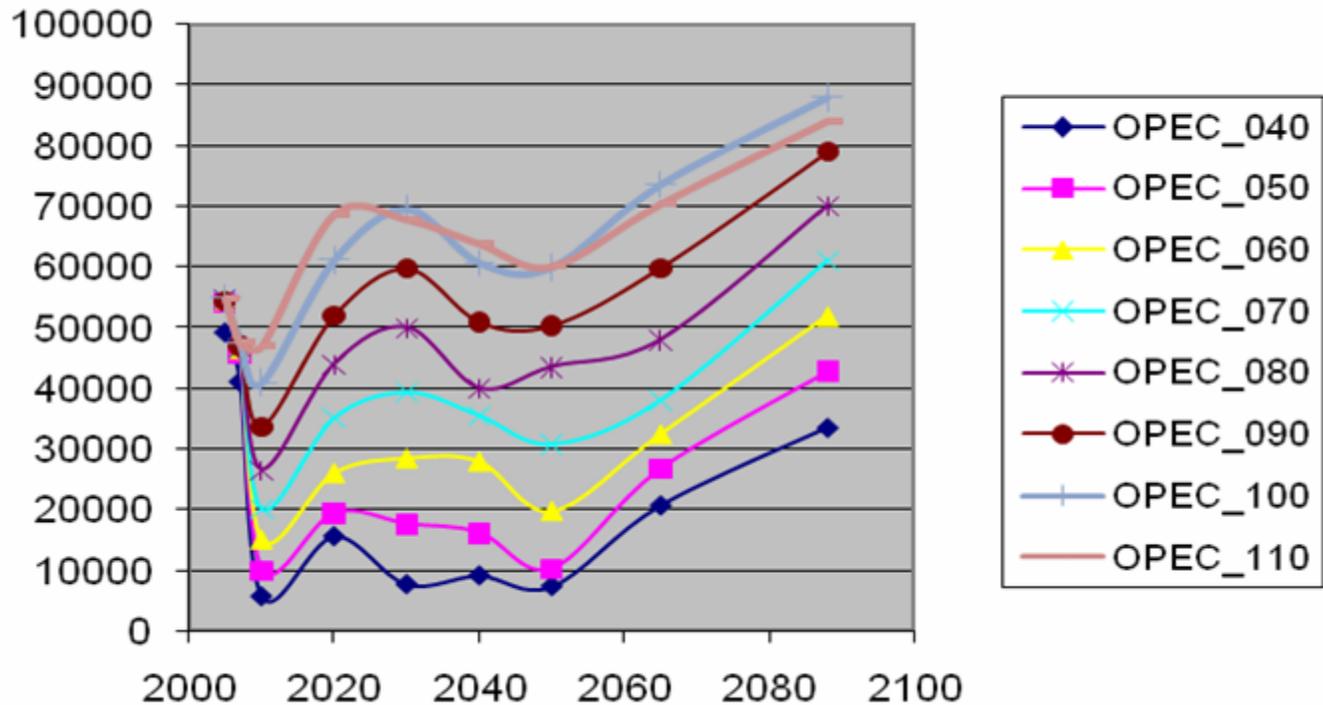
ORDECSYS

Production OPEP

KANLO



ORDECSYS



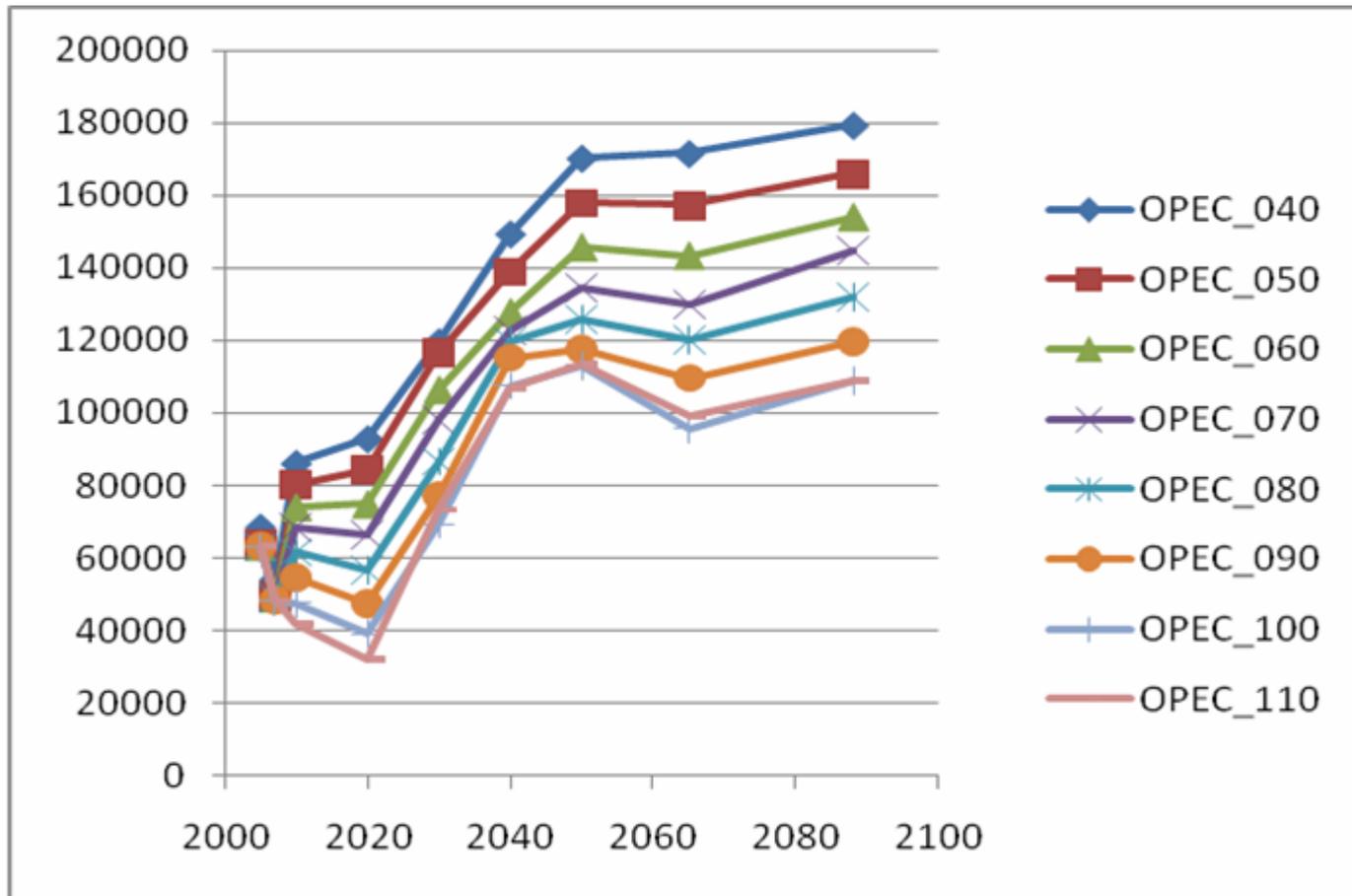
Journées du GICC - 27 et 28 mai 2008

Production par la frange concurrentielle

KANLO



ORDECSYS



Journées du GICC - 27 et 28 mai 2008

KANLO



Résultats OPEC-CLIM-100

ORDECSYS

Journées du GICC - 27 et 28 mai 2008

8 trajectoires de quotas de production

KANLO



1. 100% : quotas du scénario de base (marché concurrentiel du pétrole)
2. 70% : les quotas sont **diminués** de 30%
3. 80% : les quotas sont **diminués** de 20%
4. 90% : les quotas sont **diminués** de 10%
5. 110% : les quotas sont **augmentés** de 10%
6. 120% : les quotas sont **augmentés** de 20%
7. 130% : les quotas sont **augmentés** de 30%
8. 140% : les quotas sont **augmentés** de 40%

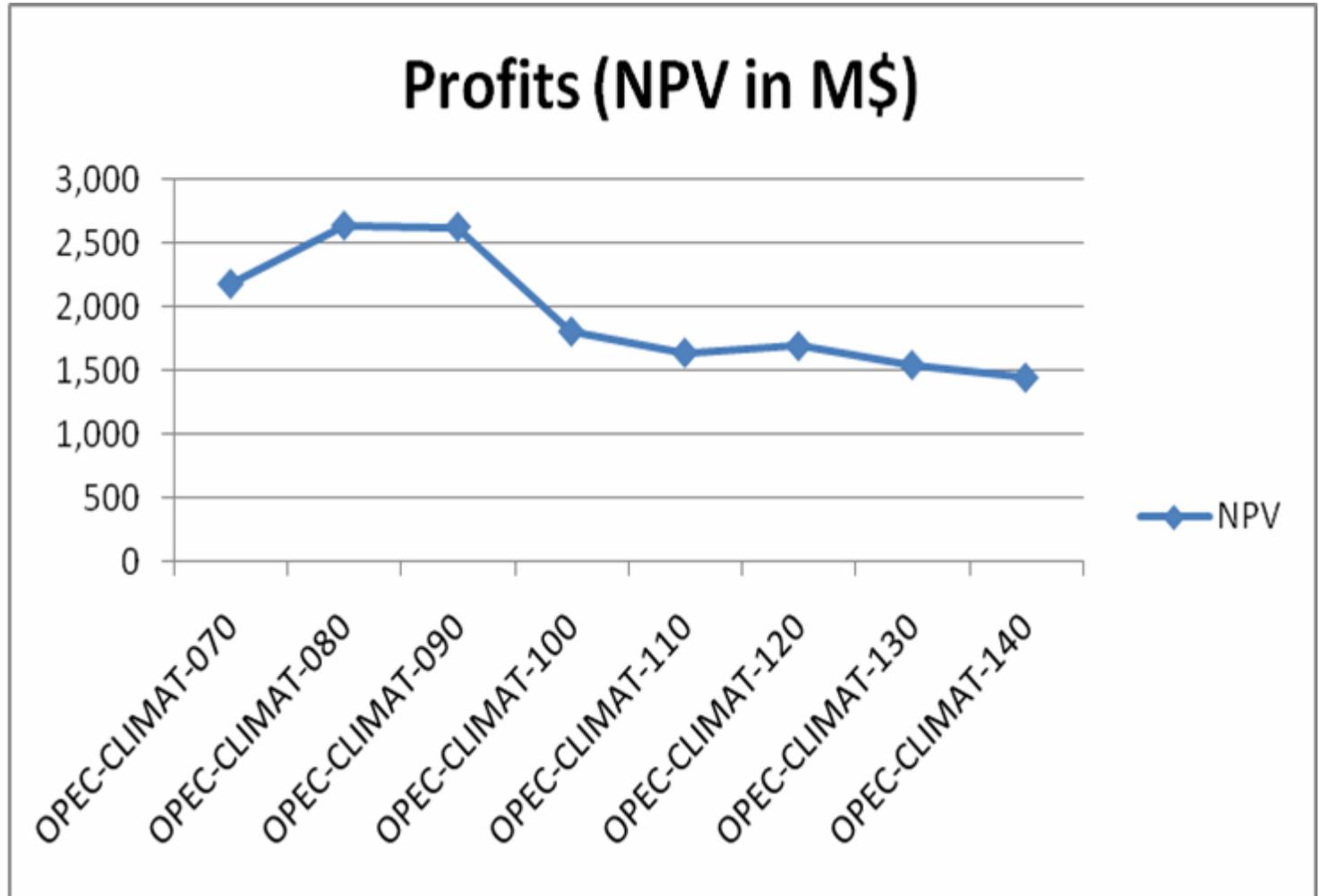
ORDECSYS

Gains de l'OPEP (NPV en Millions de \$)

KANLO



ORDECSYS

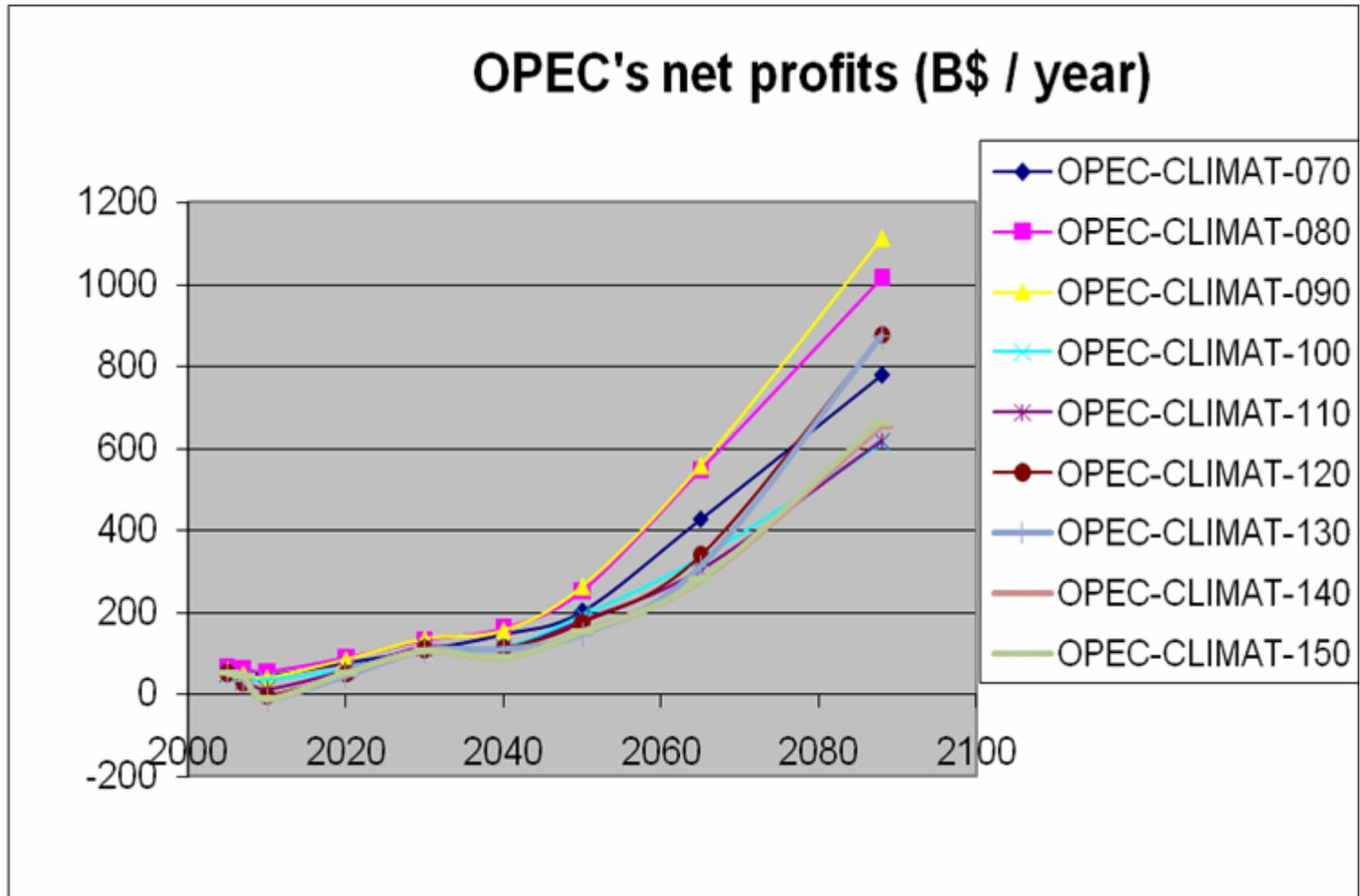


Gains annuels OPEP par période

KANLO



ORDECSYS



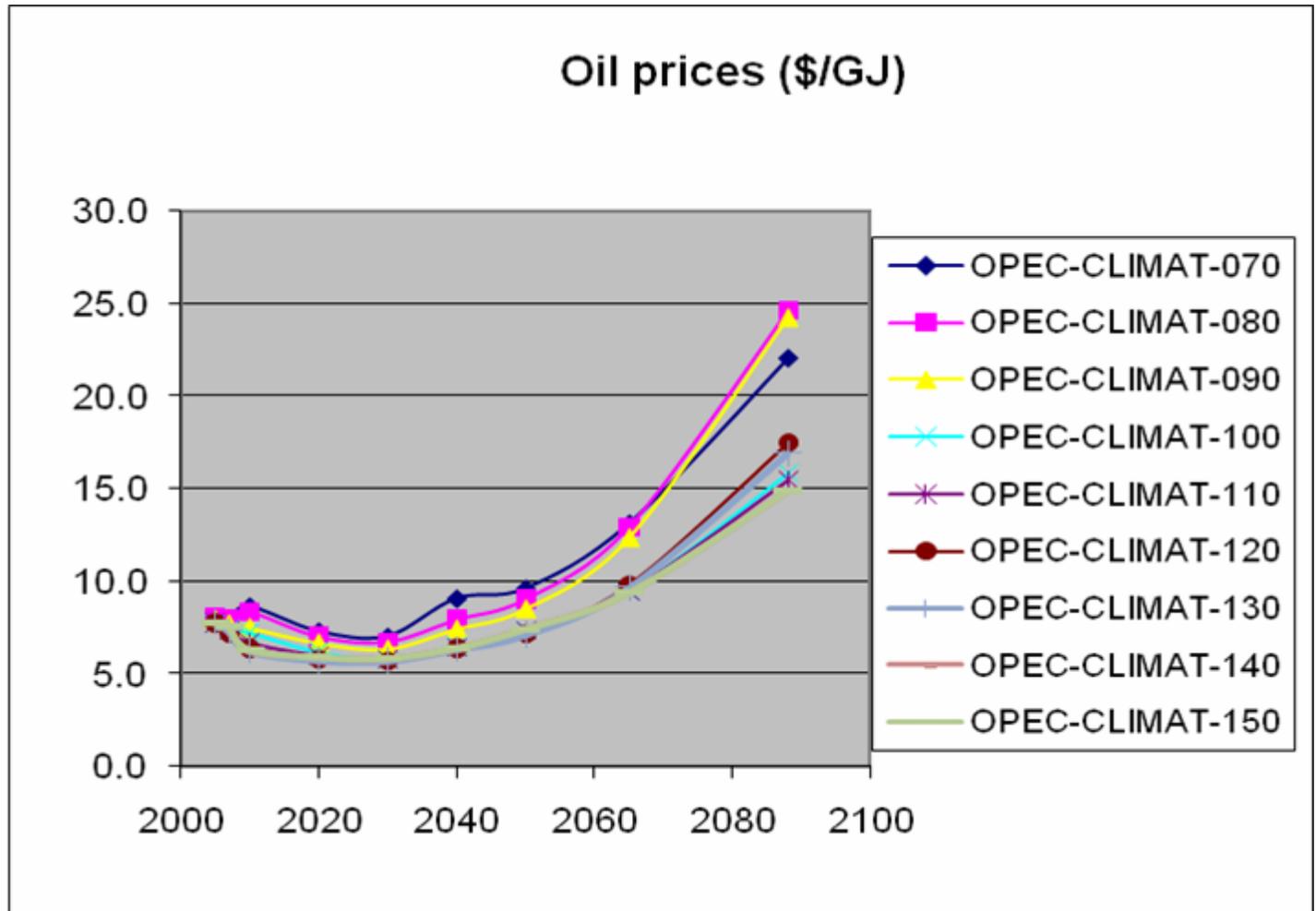
Prix du pétrole révélés

(en \$ par GJ, pour convertir en \$/bbl, multiplier par 6.4)

KANLO



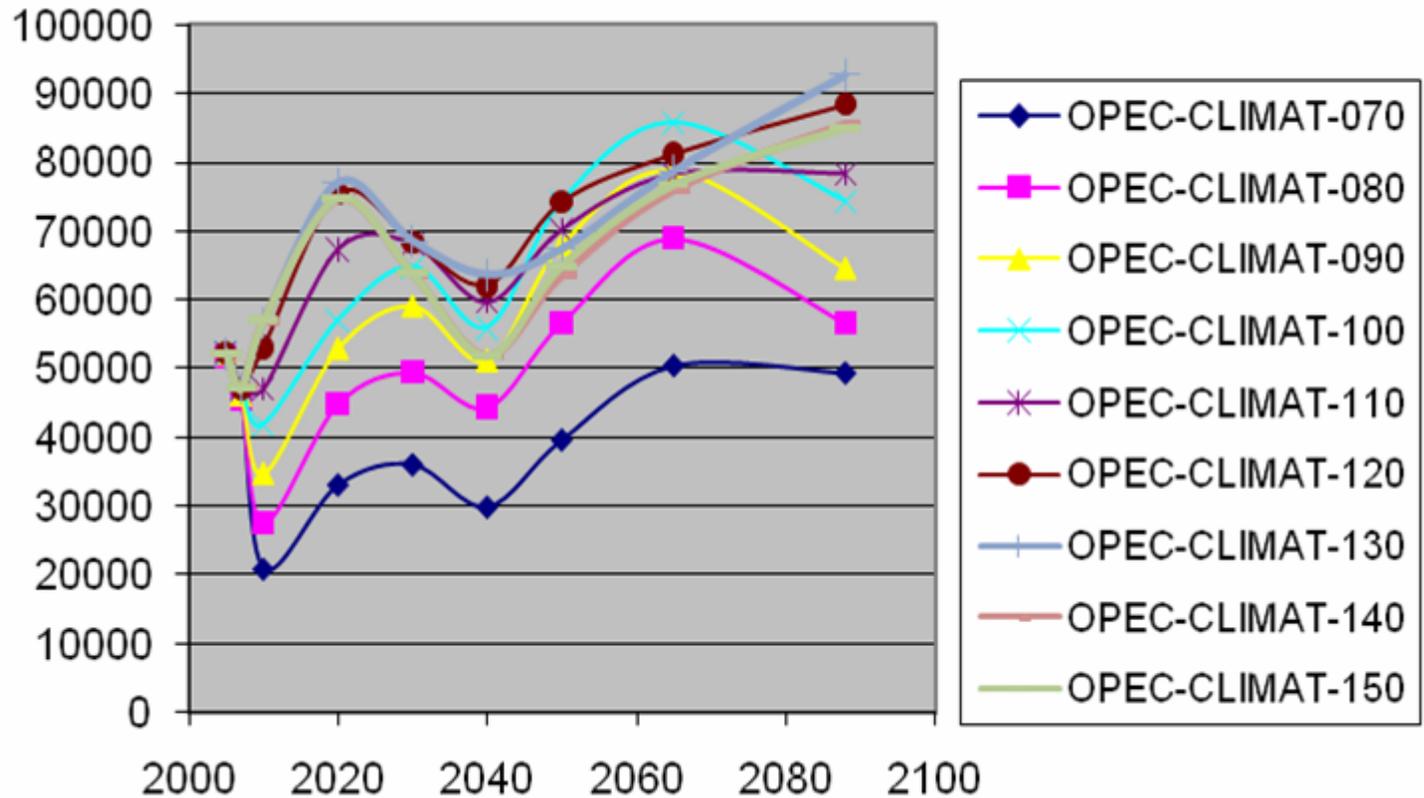
ORDECSYS



Journées du GICC - 27 et 28 mai 2008

Production OPEP

KANLO



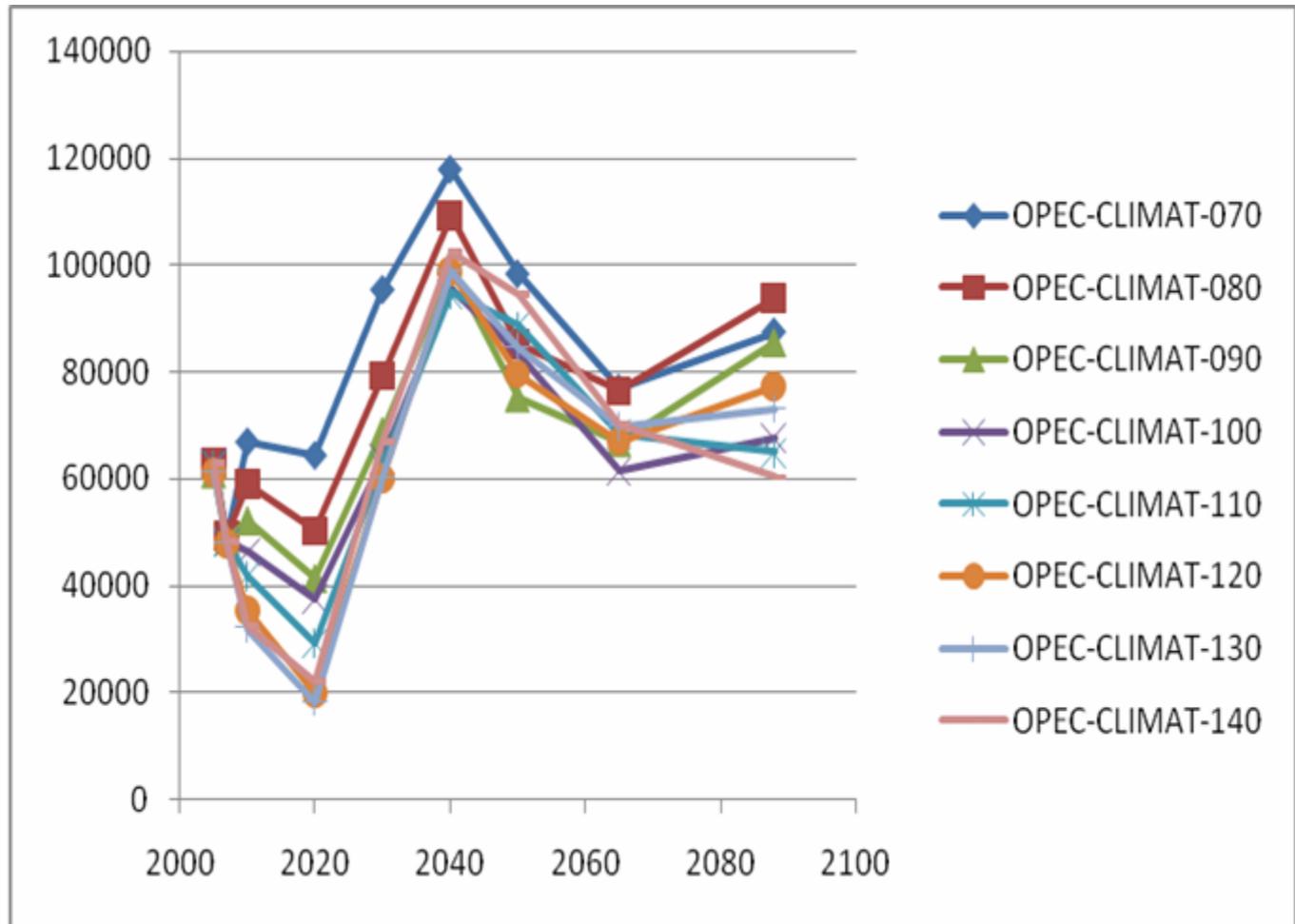
ORDECSYS

Production de la frange concurrentielle

KANLO



ORDECSYS



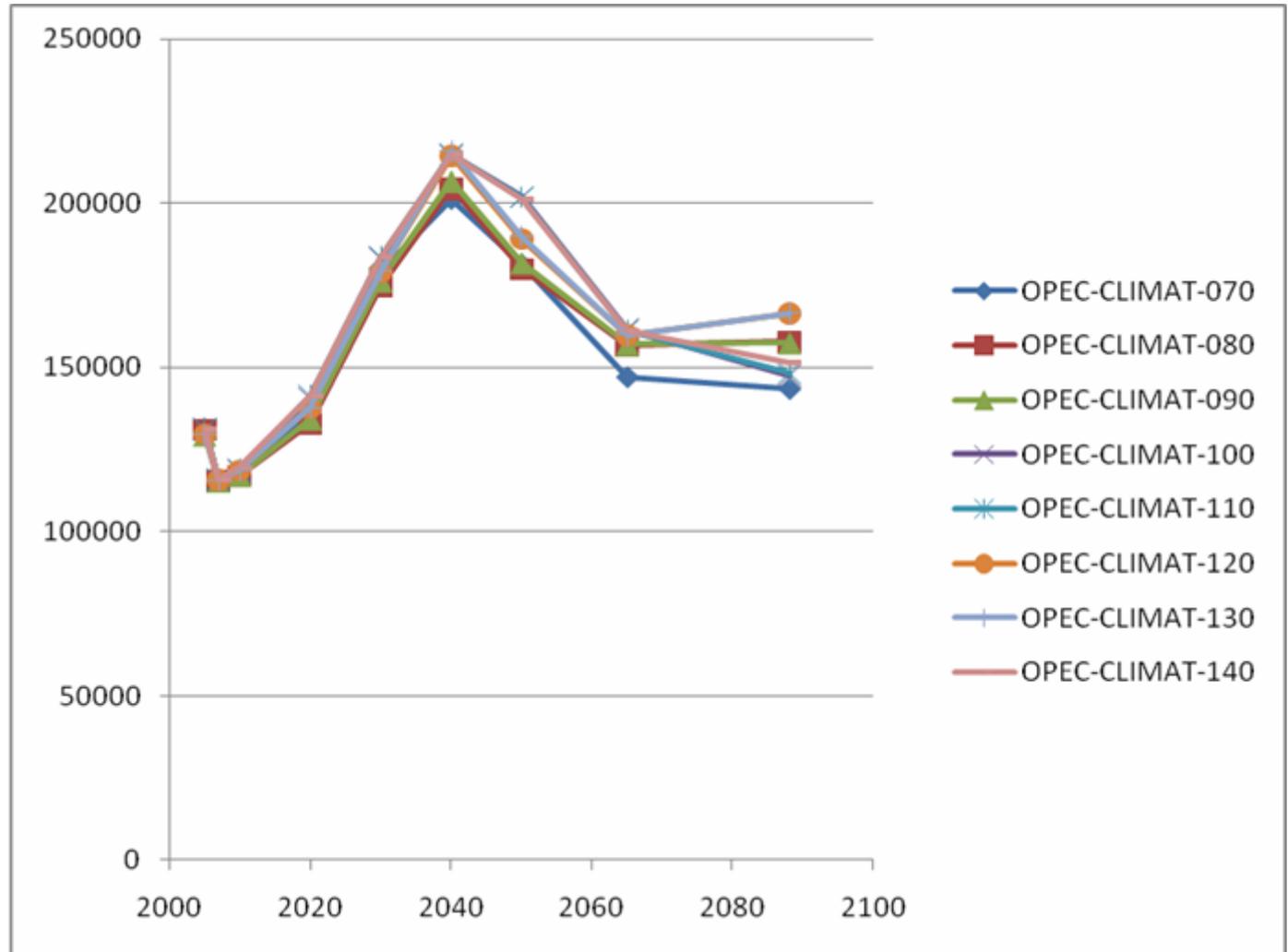
Journées du GICC - 27 et 28 mai 2008

Production totale

KANLO



ORDECSYS



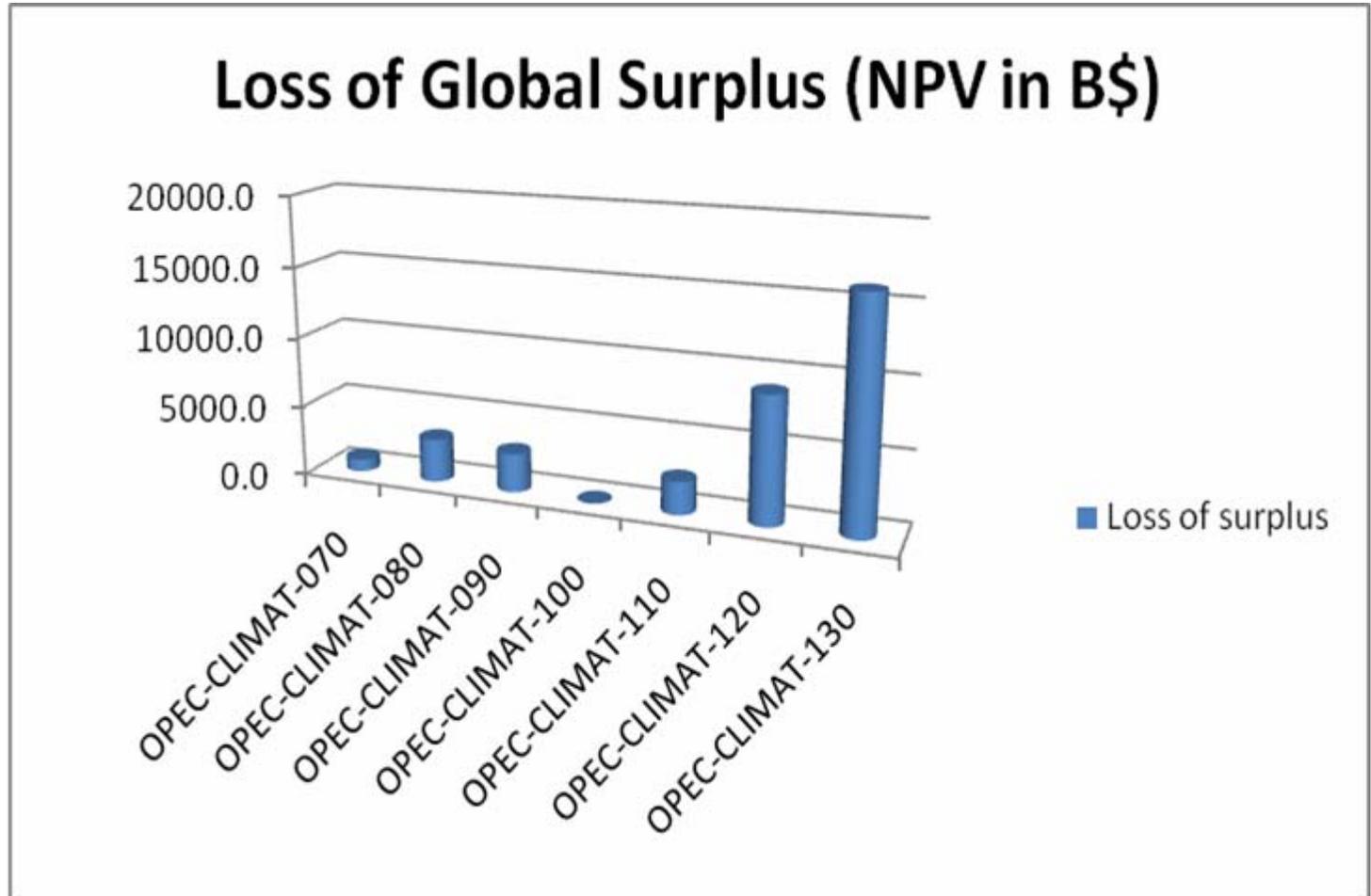
Journées du GICC - 27 et 28 mai 2008

Pertes de surplus

KANLO



ORDECSYS



Publications

KANLO



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. Bahn O., Haurie A., F. and Malhamé R., A stochastic control model for optimal timing of climate policies, **Automatica**, à paraître Juin 2008.
3. Labriet M. and Loulou R., *How Crucial is Cooperation in Mitigating World Climate? Analysis with World-MARKAL*, **Computational Management Science**, Vol. 5, 2008 pp. 67-94.
4. Labriet M. and Loulou R., *ETSAP-TIAM: the TIMES integrated assessment model Part I: Model structure*, **Computational Management Science**, Vol. 5, 2008 pp. 7-40.
5. Loulou R., *ETSAP-TIAM: the TIMES integrated assessment model. part II: mathematical formulation* **Computational Management Science**, Vol. 5, 2008 pp. 41-66.
6. Bernard A. and Vielle M., *GEMINI-E3, a general equilibrium model of international–national interactions between economy, energy and the environment*, **Computational Management Science**, Vol. 6, 2008, à paraître.

Ont participé

KANLO



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

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

Maryse Labriet, KANLO Sàrl, France.

Richard Loulou (responsable administratif), Professeur émérite, Faculty of Management, Mc Gill University, Montréal Canada, Directeur de KANLO Sàrl, France.

Marc Vielle, CEA-LERNA, détaché au REME, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, .

Jean-Philippe Vial, Professeur (hon.), HEC, Université de Genève. Directeur ORDECSYS, Suisse.

ORDECSYS