

Synthèse des résultats.

VIABILITE A LONG TERME DE LA FILIERE BIOENERGIE

1. INTRODUCTION

Alors que l'offre énergétique est relativement diversifiée pour le secteur électrique, le secteur des transports est fortement dépendant des ressources pétrolières. Au niveau mondial 99% des services énergétiques de ce secteur sont fournis par le pétrole, d'où l'urgence de trouver des substituts. Aujourd'hui, les seuls substituts compétitifs sur la base des coûts de production sont les biocarburants de première génération, les biocarburants de future génération (seconde et troisième génération) sont encore au stade de recherche et développement (Rajagopal et Zilberman, 2007). L'offre de biocarburants de première génération dépend de la disponibilité et de la productivité des terres arables d'une part et de la croissance future des besoins alimentaires d'autre part. De surcroît, les biocarburants, moins intensifs en carbone, sont aussi envisagés comme une option pour lutter contre le changement climatique. Néanmoins, de nombreuses controverses existent quant au bilan carbone des biocarburants (Peña, 2008). D'une part, des émissions sont rejetées dans l'atmosphère au cours du processus de production (utilisation de fertilisants et de pesticides). D'autre part, l'expansion de la production des biocarburants de première génération peut accélérer le processus de déforestation (Searchinger *et al.* 2008).

Afin d'analyser les interactions entre le secteur des transports et le secteur agricole induites par l'émergence des biocarburants, un modèle dynamique de choix d'allocation des ressources terrestres et pétrolières a été développé. Plus précisément, un modèle Ricardien d'allocation du sol a été joint à un modèle d'Hotelling. Les apports principaux de ce modèle sont les suivants : 1) il prend en compte les substitutions endogènes entre les ressources pétrolières et les différents types de biocarburants (biocarburants de première génération et biocarburants de génération future), 2) il tient compte de l'arbitrage entre l'allocation du sol pour la production agricole et énergétique, 3) il mesure les émissions de carbone provenant de la consommation des énergies fossiles dans le secteur des transports ainsi que celles induites par la modification d'usage des sols.

Plusieurs études se sont intéressées au potentiel futur de production des biocarburants. Reily et Paltsev (2007) ont étudié le potentiel de développement des biocarburants liquides ainsi que celui de la bioélectricité dans un modèle d'équilibre général développé par le MIT (EPPA, Emissions Predictions and Policy Analysis Model). En introduisant un module simplifié d'allocation du sol dans le secteur agricole, les effets en retour de la production de biomasse sur les marchés agricoles mondiaux sont analysés. Pour respecter des cibles de carbone, le développement de la bioélectricité est faible comparativement à celui d'autres énergies alternatives telles que le solaire ou le nucléaire. En revanche, dans le secteur des transports, les biocarburants occupent une place prépondérante. D'autres études ont analysé les effets des cibles de bio-biocarburants imposées aux Etats-Unis et dans l'Union Européenne sur les marchés agricoles mondiaux (Banse *et al.*, 2008, Birur *et al.*, 2008, et Hertel *et al.*, 2008). Ces

politiques devraient avoir un effet positif sur les prix des biens alimentaires mondiaux. De plus, une part importante de l'accroissement de la production des biocarburants devrait provenir des importations. Chakravorty *et al.* (2008) ont développé un modèle dynamique de choix énergétiques dans le secteur des transports. La terre peut être allouée soit à la production agricole ou à la production énergétique. Les effets de l'introduction d'une cible sur le carbone sont analysés.

Au cours de la prochaine section, nous allons décrire le modèle utilisé. La troisième section est consacrée à la description des différents scénarii et aux résultats du modèle.

2. PRESENTATION DU MODELE

Le modèle développé est un modèle mondial comprenant trois grandes régions définies sur la base de leur revenu par tête : les pays à haut revenu, les pays à revenu intermédiaire et enfin les pays à faible revenu.

La figure 1 décrit le processus de production agricole. La terre étant une ressource fortement hétérogène, l'espace de terres disponibles est divisée en trois classes de terre définies sur la base de leurs caractéristiques climatiques et pédologiques. Les classes de terre peuvent être classées en fonction de leur productivité. Chacune d'elles peut être destinée i) soit à la production de céréales pour l'alimentation humaine ou animale ou la production énergétique ii) soit aux pâturages. Etant donné que la croissance du revenu par

tête devrait être accompagnée par une modification des habitudes alimentaires en faveur des produits alimentaires d'origine animale, deux produits alimentaires sont distingués : les biens alimentaires d'origine animale et ceux d'origine végétale.

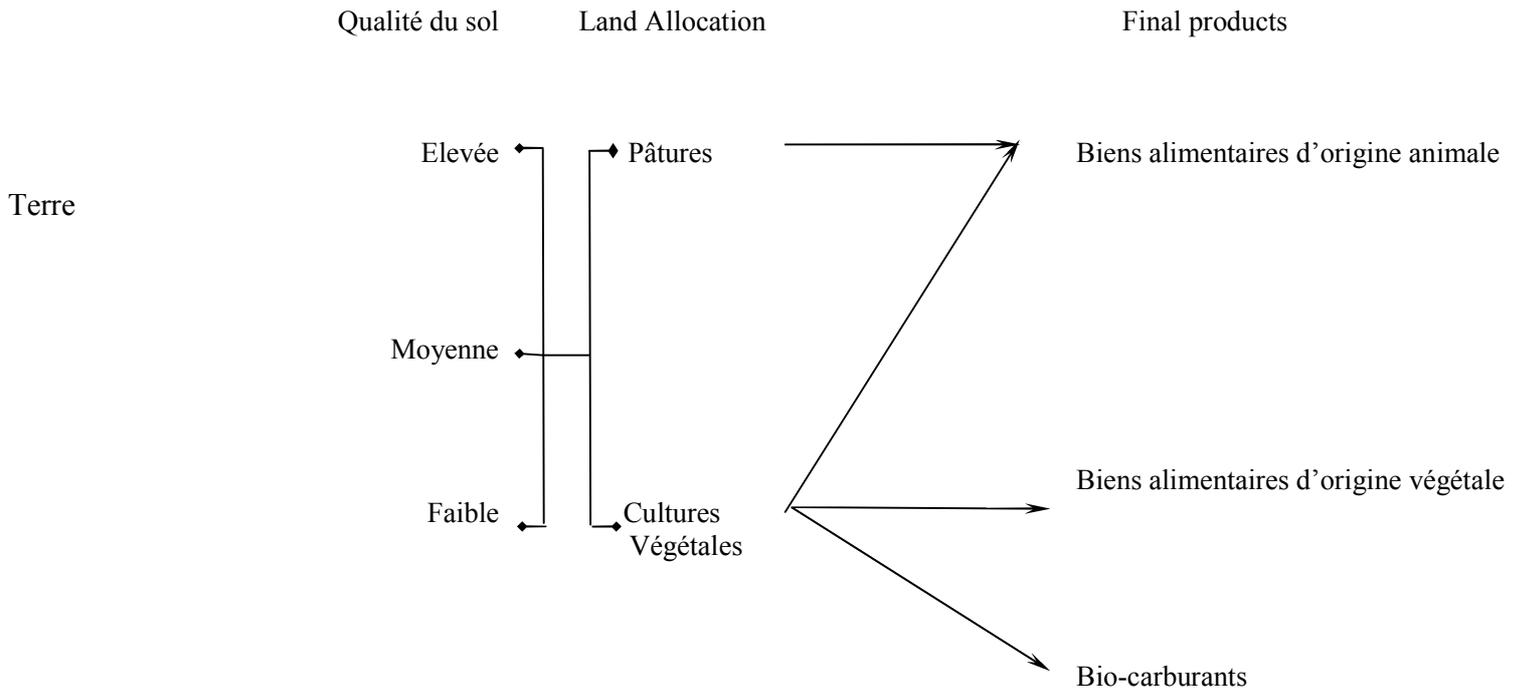


Figure 1 : Schéma de production du secteur agricole

La figure 2 décrit le processus de production dans le secteur des transports. Chacune des régions de cette économie dispose d'un stock de ressources pétrolières au coût d'extraction croissant. La consommation d'énergie dans le secteur des transports est satisfaite soit par un mix énergétique entre les carburants traditionnels et les biocarburants de première génération soit par les biocarburants de génération future. Les coûts de production des biocarburants de première génération et ceux de génération future décroissent grâce au progrès technique.

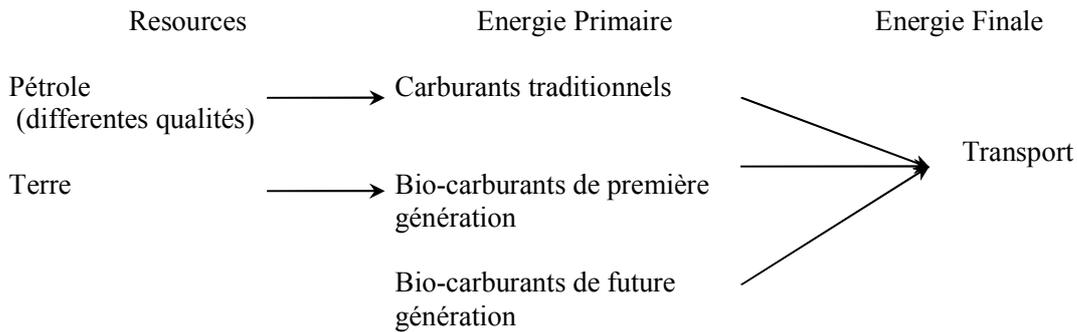


Figure 2 : Schéma de production dans le secteur énergétique

Le modèle comptabilise deux sources d'émissions de carbone. D'une part, des émissions sont rejetées au cours du processus de production/consommation des énergies fossiles et des bio-carburants. D'autre part, l'extension de la production de bio-carburants peut conduire à convertir des terres forestières en terres agricoles, conversion qui relâche du carbone dans l'atmosphère.

La croissance des besoins alimentaires et énergétiques est déterminée par la croissance du revenu par tête et de la population. La population mondiale devrait croître de 6 million à 9 million d'ici le milieu de ce siècle. Plus de 80 % de la croissance de la population mondiale devrait être observée dans les pays à revenu intermédiaire et faible.

3. SCENARII ET RESULTATS

Deux modèles ont été définis afin d'analyser le potentiel futur de production des bio-carburants de première génération et de génération futur, d'une part, et l'impact du développement des bio-carburants sur les marchés agricoles mondiaux, d'autre part.

Modèle A. Scenario avec Hotelling et sans nouvel apport de terres. Le stock de terres disponibles pour la production agricole et énergétique est égal à la superficie de terres allouées à la production agricole en 2005. L'analyse des résultats de ce scénario permet d'isoler l'effet de la rareté de la ressource terre. L'accroissement de la production agricole pour usage alimentaire ou énergétique ne peut s'effectuer que grâce aux gains de productivité ou à l'intensification des pratiques agricoles dans le secteur de l'élevage¹.

Modèle B. Scenario avec Hotelling et avec un apport de terres. Dans ce scénario, un stock de terres arables est disponible. Selon la FAO (FAO 2008), un milliard de terres seraient disponibles pour la production agricole et énergétique. Plus de 80% de ces espaces sont disponibles dans les Pays à Revenu Intermédiaire et à Faible Revenu. De plus, ces terres sont classifiées dans la catégorie des terres à faible qualité. De ce fait, la production agricole peut croître non seulement sous l'effet d'une intensification des pratiques agricoles mais aussi grâce à l'extension des terres cultivées. L'analyse des résultats de ce scénario permet d'isoler l'effet de la rareté de la ressource terre. L'analyse des résultats de ce scénario permet de mesurer les effets de la rareté de la ressource terre.

Pour chacun des modèles, nous distinguons deux types de scénario. Dans une première série de scénarii, aucune régulation n'est imposée. Ces scénarii servent de référence (scénario A.1 et B.1). Dans un deuxième scénario, une cible sur la part des biocarburants dans le mix énergétique (pétrole et bio-carburants) est imposée dans les

¹ La production de biens alimentaires d'origine animale peut augmenter en substituant l'élevage intensif à l'élevage extensif.

pays haut revenu. Cette cible est de l'ordre de 12% en 2015 et de 18% en 2020 (scénario A.2 et B.2).

Modèle A. Avec Hotelling et sans nouvel espace de terres disponibles

Choix énergétiques. En l'absence de toute politique de régulation, la part de la consommation des bio-carburants de première génération dans l'énergie mixte devrait être faible jusqu'en 2025. Elle ne devrait pas excéder pas 5% dans les pays à haut revenu et à revenu intermédiaire. Cette part devrait être proche de zéro dans les pays à faible revenu. Toutefois, en réponse à la croissance du prix du pétrole, les bio-carburants de première génération devrait substituer graduellement le pétrole. La croissance des biocarburants devrait être substantielle, ils devraient être utilisés « purs » en 2055 dans les pays à revenu intermédiaire et en 2065 dans les pays à haut revenu. Les pays à revenu intermédiaire, bénéficiant de rendements énergétiques élevés, sont les principaux producteurs de bio-carburants de première génération. Le développement des biocarburants de future génération devrait débuter en 2025 dans les pays à haut revenu et cinq ans plus tard dans les pays à revenu intermédiaire. Les bio-carburants de génération future deviennent compétitifs grâce à l'accroissement progressif des prix du pétrole et des bio-carburants de première génération. En effet, en 2050, plus de 75% des services énergétiques sont fournis par les bio-carburants de génération future. L'implémentation d'une cible sur les bio-carburants de première génération dans les pays à haut revenu stimule la demande de terre provoquant une croissance du prix des bio-carburants de

première génération. Etant donné que leur prix relatif, la demande de pétrole augmente dans les pays à revenu intermédiaire et à faible revenu.

Secteur agricole. La Figure 3 représente l'indice des prix d'équilibre des biens agricoles pour le prochain siècle. En l'absence de toute régulation, les prix des biens alimentaires devraient croître de 12% jusqu'en 2030. En présence d'une cible sur les bio-carburants, le taux de croissance des prix au cours la même période est de l'ordre de 30%. Le taux de croissance des prix est important relativement à celui prédit par les autres études. En effet, selon Banse *et al.* (2008), les prix des cultures énergétiques devraient décroître de 2005 à 2020 en l'absence de toute politique énergétique. Toutefois, l'introduction d'une cible sur les bio-carburants de première génération ralentit la décroissance des prix. Deux raisons essentielles expliquent ces différences de prévisions. D'une part, l'étude de Banse *et al.* (2008) considère uniquement une cible sur le carbone dans l'Union Européenne alors que notre étude analyse l'impact d'une cible dans l'ensemble des pays à haut revenu. D'autre part, dans ce modèle, nous considérons l'espace des terres cultivables fixes. Banse *et al.* (2008) analysent la possibilité d'étendre la production agricole et/ou énergétique sur des terres marginales.

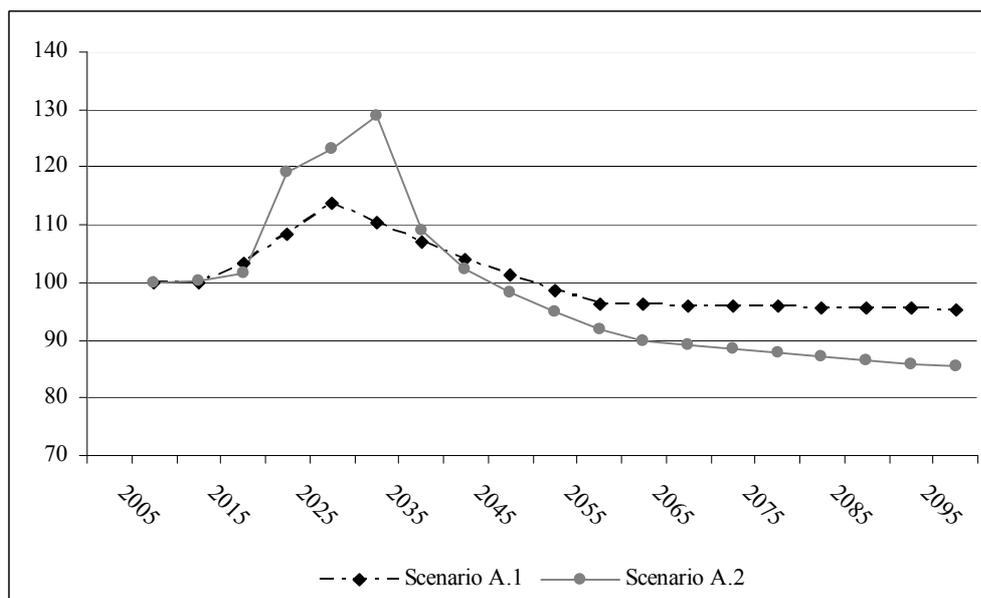


Figure 3 : Indice des prix des biens alimentaires dans le modèle A sans régulation (modèle A.1) et avec régulation (modèle A.2).

Les pays à faible revenu et à revenu intermédiaire représentant 80% de la population mondiale et vivant sur les trois-quarts de la superficie des terres disponibles, sont importateurs nets de produits alimentaires. En revanche, les pays à haut revenu sont exportateurs nets. En réponse à l'introduction d'une cible sur les bio-carburants de première génération, les exportations de produits alimentaires des pays à haut revenu diminuent en faveur de la production domestique de cultures énergétiques.

Emissions de carbone. La figure 4 représente les émissions cumulées de carbone au cours du siècle prochain avec ou sans régulation. En l'absence de régulation, la croissance des émissions de carbone est substantielle jusqu'au milieu de ce siècle. Au cours de la seconde moitié du siècle, les émissions de carbone sont très faibles étant donné que plus des trois-quarts de l'énergie est pourvue par des ressources neutres en terme d'émissions de carbone. Lorsqu'une cible sur les bio-carburants de première

génération est imposée dans les pays à haut revenu, un effet de relâchage du carbone est observé dans les pays à revenu intermédiaire et à faible revenu. En effet, leurs émissions de carbone augmentent de 25% par rapport au scénario sans régulation. Toutefois, au niveau mondial et au cours du siècle prochain, les émissions cumulées de carbone diminuent de 10% par rapport au scénario sans régulation.

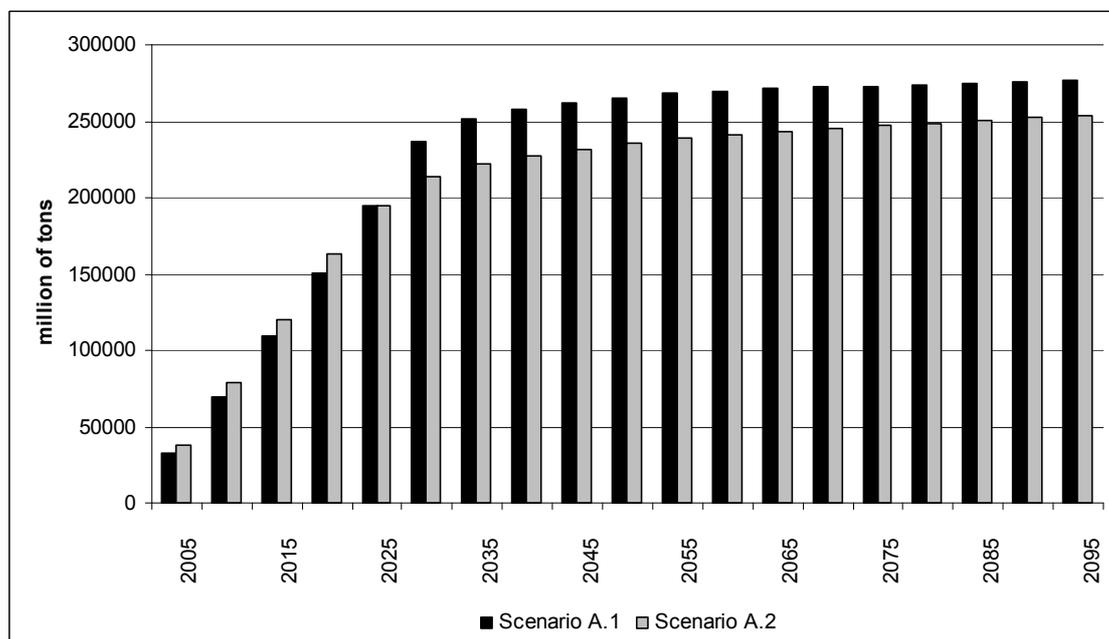


Figure 4 : Emissions cumulées de carbone exprimées en million de tonnes de carbone pour le siècle prochain. Scénario A.1 (sans régulation) et scénario A.2 (avec régulation).

Coûts de la politique énergétique. Pour implémenter cette politique énergétique, le gouvernement doit offrir une subvention à la production de bio-carburants de première génération dans les pays à haut revenu. Cette subvention devrait représenter 30% du coût de production des bio-carburants de première génération. De ce fait, le coût de l'implémentation de cette politique reste relativement élevé.

Modèle B. Avec Hotelling et avec nouvel espace de terres disponibles.

Choix énergétiques. Afin d'analyser l'impact de l'apport de nouvelles terres arables, nous comparons systématiquement les résultats du modèle B avec ceux du modèle A. En l'absence de régulation, la consommation mondiale de bio-carburants de première génération augmente de 25% par rapport au modèle A (sans apport de nouvelles terres). L'accroissement de la production de bio-carburants est substantielle dans les pays à haut revenu et à revenu intermédiaire. Afin de satisfaire la cible sur les bio-carburants de première génération, les pays à haut revenu deviennent importateurs nets de bio-carburants, les importations devant provenir des régions bénéficiant de larges espaces de terres en forêt.

Secteur agricole. La possibilité de convertir des terres arables en usage agricole pour répondre aux besoins énergétiques et alimentaires allège la pression sur la ressource terre. L'apport de nouvelles terres arables permet de ralentir la croissance des prix alimentaires jusqu'en 2025. En effet, dans le scénario A.1 (absence de régulation et de nouvelles terres arables) les prix alimentaires devaient croître de 10% de 2005 à 2025, ce taux de croissance serait uniquement de 5% dans le scénario B.1 (absence de régulation et apport de nouvelles terres). Un effet de réallocation des terres entre l'usage agricole et énergétique devrait être observé. Les terres marginales de qualité faible ne sont allouées à la production énergétique mais à la production agricole. Les terres de qualité élevée précédemment allouées à la production agricole sont allouées à la production énergétique.

Emissions cumulées de carbone. Le modèle tient compte des émissions cumulées de carbone. Malgré l'implémentation d'une cible sur les bio-carburants de première génération, le niveau des émissions cumulées de carbone est quasi identique à celui du scénario sans régulation et sans apport de nouvelles terres. L'apport de nouvelles terres arables permet certes d'alléger la contrainte sur la terre et de ralentir la croissance des prix des biens agricoles mais peut aggraver le changement climatique.

4. CONCLUSION

Au cours de cette étude, nous avons développé un modèle dynamique de choix des ressources énergétiques a été joint à un modèle Ricardien d'allocation du sol. Deux types de modèles ont été construits. Dans un premier temps, l'espace de terres disponibles est supposé être constant. Dans un deuxième temps, cette hypothèse restrictive est relâchée afin d'envisager la possibilité de convertir des terres forestières en terres agricoles pour accroître la production agricole et énergétiques. Enfin, les effets de l'introduction d'une cible de carbone dans les pays à haut revenu sont analysés.

En l'absence de régulation, l'impact de la production des bio-carburants de première génération sur les prix des biens alimentaires devrait être substantiel. Toutefois, la croissance des prix alimentaires est atténuée grâce à la conversion de terres forestières en terres agricoles. A la suite de l'implémentation d'une cible sur les bio-carburants de première génération, la croissance des prix peut varier entre 30% (sans apport de nouvelles terres) jusqu'à 15% (avec apport de nouvelles terres). Le bilan environnemental des cibles locales sur les bio-carburants de première génération est mitigé. D'une part, un

effet de relâchage du carbone se produit dans les pays à revenu intermédiaire et à faible revenu. D'autre part, en comptabilisant les émissions de carbone provenant de la modification de l'allocation du sol, peu d'économies d'émissions de carbone sont réalisées.

REFERENCES

Agawam R, N.R Shing, F-H Ribiero and W.N Delgass, 2007, Sustainable fuel for the transportation sector, *Sustainability Science, Vol 104,n°12, 4828-4833*.

Banse M, Meijl H.van and Wotlger G., The impact of first generation biofuels on agricultural production, trade and land-use, *forthcoming European Review of Agricultural Economics*.

Bomb C, K. McCormick, E. Deuwaarder and T. Kåberger, 2007, Biofuels for transport in Europe: Lessons from Germany and the U.K. *Energy Policy, 35, 2256-2267*.

Bouwman L., K. van der Hauer, B. Eickhout, and I. Soenario, 2005, Exploring changes in world ruminant production system, *Agricultural Systems, 84, 121-153*

Bouwman L., K. van der Hoek, G. van Drecht and B. Eickhout, 2006, World Livetsock and World Production Systems, Land-Use and Environment between 1970 and 2030, *F. Brouwer and B.A Mc Carl (eds.) Agriculture and Climate Beyond 2015, 75-89*.

Cranfield J.L.A, T.W Hertel, S.E James, and P.V Preckel, 2003, Changes in the Structure of Global Food Demand, *American Journal of Agricultural Economics*, Vol 80, N°5,1042-1050.

Chakravorty U, and J. Roumasset, 1990, Competitive Oil Prices and Scarcity Rents When the Extraction Cost Function is Convex, *Resource and Energy Economics*, 12.

Chakravorty U, B. Magné and M. Moreaux, 2008, A Dynamic Model of Food and Clean Energy, *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol 32, Issue 4, 1181-1203

Chakravorty U, B. Magné and M. Moreaux, Can Nuclear Power Supply Clean Energy in the Long Term? A Model with Endogenous Substitution of Resources, *forthcoming in Journal of Environmental Economics and Management*.

Cranfield J.L.A, T.W Hertel, J.S Eales and P.V Preckel, 1998, Changes in the Structure of Global Demand, *American Journal of Agricultural Economics*, Vol 80, n°5.

Cranfield J.L.A, S.E James, T.W Hertel and P.V Preckel, 2003, Model estimation when estimating and predicting consumer demands using international cross section data, *Empirical Economics*, 28: 353-364

Delgado C.L, C.B Courbois and M. Rosegrant, 1998, Global food demand and the contribution of the livestock as we enter the new millennium, MSSD Discussion paper

n°21, Markets and Structural Studies Division, International Food Policy Research Institute, Washington DC.

Department of Energy, 1997, Emissions of Greenhouse Gases in the United-States, 1997. DOE, URL: <http://www.eia.doe.gov/oiaf/1605/gg98rpt/preface.html>

European Commission, 2000, SAUNER: Sustainability And the Use of Non-rEnewables Resources, European Commission, Environment and Climate Programme.

FAO, *FAOSTAT*, Food and Agriculture Organization of the United-Nations, Rome, Available online: <http://faostat.fao.org/>.

FAO, 2003, *World Agriculture towards 2015-2030*, Food and Agriculture Organization, Rome.

FAO, 2005, *Agriculture Trade and the Poverty: Can trade work for the poor?* Food and Agriculture Organization, Rome.

FAO, 2007, *Paying Farmers for environmental Services*, Food and Agriculture Organization, Rome.

FAO-OECD, 2008, OECD-FAO Agricultural Outlook-Database (2007-2016), Available on line:

http://www.oecd.org/document/53/0,3343,fr_2649_201185_39550901_1_1_1_1,00.html

Golub A. and T.W Hertel, 2007, Global Economic Integration and Land-Use Change,
Working Paper GTAP.

GTAP 5-4, Data Package Documentation, University of Purdue.

Hamelinck C.N, P-A-C Faaij, 2006, Outlook for advanced biofuels, *Energy Policy*, (34),
3268-3283.

IAE, 2007, Biofuel Production, *IAE Energy Technology Essential*, International Agency
Energy, Paris, France

IAE, 2007, *World Energy Outlook 2007*, International Agency Energy, Paris, France.

IAE, Statistics and Balances, International Agency energy, Paris, France, Available on
line: <http://www.iea.org/Textbase/stats/index.asp>

Institut Français du Pétrole, 2007, Les biocarburants dans le monde, Panorama 2007,
Proceeding Institut Français du Pétrole, Available on line:
<http://www.ifp.fr/actualites/dossiers/les-biocarburants>.

Keeney R. and T.W Hertel, 2008, The Indirect Land-Use Impacts of U.S Biofuels
Policies: The Importance of Acreage, Yield and Bilateral Trade Response, GATP
Working Papers, No. 52.

Kojima M., D. Mitchell, W. Ward, 2007, *Considering Trade Policy for Liquid Biofuels*. World Bank, Energy System Management Assistance Program.

Maddison A, 2001, *L'économie mondiale, une Perspective Millénaire*, Editions de l'OCDE, Paris.

Millennium Assessment System, 2005, World Watch Institute

Msangi S., T. Sulser, M. Rosegrant, R. Valmonte-Santos, and C. Ringler. 2006, *Global Scenarios of Biofuels: Impact and Implications*, International Food Policy Research Institute (IFPRI).

New-York Times, 2008, *A New, Oil Global Quandary: Costly Fuels Means Costly Calories*. By Keith Bradsher, January, 19th, 2008.

Nordhaus W.D. and J. Boyer, 2000, *Warming the world, Economics Models of Global Warming*, MIT Press, Cambridge, MA.

Nordhaus, W.D., 2007, *The Challenge of Global Warming: Economic Models and Environmental Policy*. Yale University.

Organization for Economic Cooperation and Development (OCDE), 2006, *Agricultural Markets Impacts of Future Growth in the Production of Biofuels*. *OCDE Papers*, 6, 1: 1-57.

Rajagapol D. and D. Zilberman, 2007, Review of environmental, economic and policy aspects of biofuels, *World Bank, Working paper 4341*. Available on line:
http://econ.worldbank.org/external/default/main?pagePK=64165259&theSitePK=469372&piPK=64165421&menuPK=64166093&entityID=000158349_20070904162607

Reilly J and S. Paltsev, 2007, Biomass Energy and Competition for Land, Chapter 8 of the forthcoming book *Economic Analysis of Land Use in Global Climate Change Policy*, edited by Thomas W. Hertel, Steven Rose, and Richard S.J. Tol.

Rogner H-H, 1997, An assessment of world hydrocarbures resources, *Annual Review of Energy and the Environment*, 22, 217-62.

Rosegrant M.W., M.S. Paisner, S. Meijer, et J.Witcover, 2001, *Global Food Projections to 2020: Emerging Trends and Alternatives Futures*, Washington, D.C: International Food Policy Research Institute.

Ryan L., Convery F., Ferreira S., 2006, Stimulating the use of biofuels in the European Union: Implications for climate change policy, *Energy Policy Vol. 34*, 3184-3194.

Searchinger T, R. Heimlich, R.A Houghton, F. Dong, J. Elobeid, J. Fabiosa, S. Togkoz, D. Hayes and T-H Yu, Use of U.S Croplands for Bio-fuels Increases Greenhouse Gas Through Emissions from Land-Use Change. *Science*, 319: 1238-1240.

Schneider, Mac Carl (2003). Economic Potential for Biomass-Based Greenhouse Gas Emissions Mitigation. *Environmental and Resource Economics*. 24: 291-312.

USDA, 2008, Commodity and Food Elasticities: Demand Elasticities from Literature, Economic Research Service, USDA, Available on line:

<http://www.ers.usda.gov/Data/Elasticities/Query.aspx>

UNDP, 2004, *World Population in 2300*, United Nations Division for Population, New-York, Available on line:

<http://www.un.org/esa/population/publications/longrange2/longrange2.htm>

Von Lampe, Martin, 2006, Handout on the work on OECD work on biofuels, OCDE Available on line: <http://www.lufpig.eu/documents/OECDHandout.pdf> .

WEC, 2007, 2007 Survey of Energy Resources, World Energy Council, London.

Available on line:

http://www.worldenergy.org/publications/survey_of_energy_resources_2007/default.asp

Wiebe K.(Ed), 2003. *Land Quality, Agricultural Productivity, and Food Security*.

Edward Elgar Cheltenham, UK. Northampton, MA, USA.

World Bank, *Data and Statistics*, World Bank, Washington DC, Available on line:

<http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/DATASTATISTICS/>

Yacobucci B.D and R. Schnepf, 2007, Ethanol and Biofuels: Agriculture, Infrastructure, and Market Constraints Related to Expanded Production, Congressional Research Service.