

GLOBAL DEVELOPMENT AND ENVIRONMENT INSTITUTE

DOCUMENT DE TRAVAIL NO. 13-04

Pourra-t-on Nourrir la Planète en 2050 ?
Un Etat des lieux des Modèles de Prévisions actuels

Timothy A. Wise

Septembre 2013

Traduit de l'Anglais par Didier Wayoro et Anne-Marie Codur

Tufts University
Medford MA 02155, USA
<http://ase.tufts.edu/gdae>

Voir la liste complète des documents de travail sur notre site web
http://www.ase.tufts.edu/gdae/publications/working_papers/index.html

Résumé:

La sonnette d'alarme a été tirée concernant notre capacité à nourrir la planète en 2050 suite à la flambée des prix des denrées alimentaires de 2007-2008. Certains ont affirmé que nous devons doubler la production alimentaire. D'autres estimations ont projeté une augmentation de 60% de la production agricole pour répondre à l'augmentation de la population et aux changements des régimes alimentaires. Ce document va au-delà de ces estimations en évaluant les modèles économiques sous-jacents qui ont généré les projections les plus fréquemment citées. Un éventail de modèles est évalué, une typologie de modélisation ainsi que les forces et les faiblesses des différentes estimations sont présentées. Leurs faiblesses notables comprennent une sous-estimation de l'impact de l'expansion des biocarburants et les incertitudes liées au changement climatique et à ses effets sur la production agricole. Nous concluons par une série de recommandations concernant la modélisation de l'avenir et la nécessité de fournir aux décideurs politiques des analyses pertinentes de scénarios pouvant les aider à mesurer l'impact des politiques envisageables.

Mots-clés: agriculture, politique alimentaire, modélisation économique, changement climatique, biocarburants, faim et malnutrition.

Pourra-t-on Nourrir la Planète en 2050 ?

Un Etat des lieux des Modèles de Prévisions actuels

Timothy A. Wise¹

Introduction

«Les résultats issus de l'estimation d'un modèle ne doivent pas être interprétés à tort comme des prévisions ayant des intervalles de confiance précis. Au contraire, ils sont destinés à fournir des indications chiffrées sur les interactions complexes dans un système fortement interdépendant et sur l'ordre de grandeur potentiel général des effets qui ne peuvent être obtenus uniquement par une approche qualitative et théorique. »²

Malthus avait raison! Au moins, c'est ce que l'on pourrait conclure des alarmes qui sonnaient avec le doublement des prix mondiaux des matières premières agricoles en 2008. Le point de référence commun a été 2050, où il est prévu que la population mondiale dépassera 9 milliards. Les besoins alimentaires de cette population dépasseront-ils la capacité productive, comme prédit par Thomas Malthus en 1798 dans son célèbre traité, *Essai sur le principe de population*? Ses prédictions, qui équivalent à l'une des premières modélisations à l'échelle mondiale de la capacité de la planète à nourrir sa population croissante, ont été largement discréditées. Mais les contraintes de ressources, exacerbées par les incertitudes sur le changement climatique, ont ravivé les questions sur la capacité des sociétés et de la planète à nourrir notre population croissante.

Les hausses de prix de 2008 ont été l'élément déclencheur, et les mises en garde sont venues de partout. Le leadership de l'Organisation pour l'Alimentation et l'Agriculture des Nations Unies (FAO) et du Programme Alimentaire Mondial (PAM) a appelé le monde à doubler la production alimentaire d'ici 2050 pour satisfaire la demande croissante, non seulement d'une population de plus en plus grande qui consommera plus de viande, mais aussi une demande croissante de cultures destinées aux biocarburants (Programme Alimentaire Mondial 2009).

«Avec près de 80 millions de personnes supplémentaires à nourrir chaque année, l'agriculture ne peut pas faire face à la demande alimentaire croissante », a averti Frank Rijsberman, chef du Groupe consultatif pour la recherche agricole

¹ Timothy A. Wise est Directeur du Programme "Research and Policy Program" au Global Development and Environment Institute, à l'Université de Tufts. Il est très reconnaissant à Elise Garvey pour son assistance précieuse au cours des recherches nécessaires à la rédaction de ce papier, ainsi qu'à d'autres collègues qui ont apporté des commentaires ayant contribué à améliorer très substantiellement le contenu de ce papier. Une version légèrement différente de ce papier a été présentée sous la forme de rapport sur les politiques alimentaires à Action Aid USA, sous le titre "Feeding the World in 2050: With the right policies, there's no reason for panic": Nourrir le monde en 2050 : pas de raison de paniquer, si l'on adopte les politiques appropriées. www.actionaidusa.org/publications/feeding-world-2050.

² Reilly, Michael and Dirk Willenbockel (2010). "Managing uncertainty: a review of food system scenario analysis and modelling." *Philosophical Transactions of the Royal Society* **365**: 3049-3063. Page 2053.

internationale (GCRAI). «La FAO estime que nous devons doubler la production alimentaire d'ici 2050 pour nourrir les 9 milliards de personnes attendues, sachant qu'un milliard de personnes déjà se couchent chaque jour le ventre vide.» (Rijsberman 2012)

En fait, la FAO n'avait pas appelé à un doublement de la production alimentaire d'ici 2050, du moins de la part de son équipe expérimentée de spécialistes en modélisation agricole. Les modèles de l'agence avaient suggéré le besoin d'augmenter la production agricole - pas seulement la production alimentaire - de 70% entre 2005/07 et 2050 (FAO 2009). Une mise à jour de ces estimations en 2012 a ramené ce chiffre à 60% pour la même période (pour des explications sur l'estimation actualisée, voir (Alexandratos et Bruinsma 2012).

Pourtant, les chiffres 100% et 70% continuent d'être avancés dans les déclarations publiques sur la crise des prix alimentaires. Certaines sont venues d'intérêts commerciaux qui ont tout à y gagner. Monsanto continue d'affirmer que «nous devons doubler la quantité de nourriture que nous produisons actuellement. » (Monsanto 2013) L'auteur respecté Gordon Conway (2012), dans son récent livre, intitulé *One Billion Hungry: Can We Feed the World?* (Un milliard d'affamés: Peut-on nourrir la planète?), se fait l'écho de la nécessité largement diffusée mais insuffisamment documentée d'augmenter de 100% la production alimentaire d'ici 2050. Certains des avertissements viennent de fonctionnaires bien intentionnés mus par la volonté d'inciter à agir en termes d'investissements dans l'agriculture et le développement. Jusqu'en 2011, les agences des Nations Unies soulignaient la nécessité d'augmentations de «70 à 100 pour cent » (DESA 2011).

Comme le notent les modélisateurs de la FAO, l'estimation de 70% « semble avoir prospéré d'elle-même », devenant l'estimation la plus souvent citée. Toutefois les propres fonctionnaires de la FAO citent maintenant le chiffre le plus actualisé, en affirmant avant le sommet Rio +20 de 2012, que «nous avons besoin d'améliorer l'accès des populations à l'alimentation dans leurs communautés, d'accroître la production de 60 pour cent d'ici à 2050, de réduire de façon drastique les pertes énormes et gaspillages de nourriture, de gérer nos ressources naturelles de manière durable, de sorte qu'elles soient disponibles pour les générations futures » (Nwanze, Graziano da Silva et al. 2012).

L'objectif de cette étude est d'examiner les fondements des diverses affirmations concernant les besoins futurs en agriculture et d'en évaluer les implications. En effet, une petite industrie a vu le jour autour de la question concernant la production suffisante de nourriture pour la planète en 2050, et les études divergent largement dans leurs résultats. Les estimations sont importantes, précisément parce qu'elles instruisent à la fois le débat et les politiques publiques. Sommes-nous en face du pessimisme Malthusien concernant la rareté de la nourriture, ou peut-être d'un scénario dans lequel «la croissance prendrait fin», dû au dépassement de la capacité de charge de la planète ?

Peut-être sera-t-il plus important de savoir dans quelle mesure ces estimations de la demande et de l'offre alimentaire mondiales intègrent de façon adéquate les incertitudes

occasionnées par l'évolution des tendances économiques et environnementales allant du changement climatique à l'expansion des biocarburants, du ralentissement des rendements agricoles à l'augmentation de la demande en viande d'une classe moyenne mondiale sans cesse grandissante? La modélisation repose souvent sur des scénarios qui préfèrent «maintenir le statu quo» ou qui traitent les méthodes courantes comme incontournables. Pourtant, le changement climatique, qui se caractérise par un nombre impressionnant d'incertitudes, va avoir des impacts sur la production agricole future, même si des mesures sont prises dès maintenant pour ralentir les émissions des gaz à effet de serre.

Enfin, est-ce que la modélisation propose des recommandations utiles aux décideurs politiques au sujet des facteurs qui provoquent des prix agricoles excessivement élevés et proposant des politiques publiques pouvant y remédier, y compris au travers de l'utilisation durable des ressources environnementales?

Ce tour d'horizon représente plus un guide d'utilisateur de cette modélisation qu'une évaluation de la modélisation elle-même, en faisant un tour d'horizon des types de modèles utilisés dans cette recherche (voir Reilly et Willenbockel 2010 pour un bon aperçu, pp 3051-3). Nous commençons en retraçant les origines des principales affirmations, justifiant la fiabilité et les limites de ces efforts. Nous cherchons à prendre du recul pour examiner les difficultés inhérentes à une telle modélisation de long terme, puis identifions des typologies utiles pour couvrir un éventail plus large de projections concernant 2050. Dans la section suivante, nous examinons certains des scénarios utilisés pour la modélisation des facteurs fondamentaux ayant inspirés les projections de 2050, notamment la productivité agricole, l'expansion des biocarburants et le changement climatique. Nous touchons aussi brièvement à l'utilisation des modèles biophysiques pour évaluer l'utilisation future des ressources, en particulier terrestres et aquatiques. Ensuite, nous examinons certains des modèles normatifs qui ont été développés pour répondre aux scénarios plus larges englobant les changements multidimensionnels dans les modes de vie de la société. Nous concluons par quelques observations sur les forces et les limites à ce jour de la modélisation à l'horizon 2050 et proposons des domaines dans lesquels elle peut contribuer le plus utilement à la prise de décision.

Le contexte - Examen des modèles utilisés et de leurs résultats

Les chiffres les plus souvent cités proviennent des efforts entrepris au cours du temps par la FAO en vue d'évaluer la demande alimentaire future. Leurs estimations immédiatement après les flambées des prix des aliments de 2007-2008, qui suggéraient la nécessité de doubler en 2050 la production alimentaire de 2005/07, ont servi de base pour tirer la sonnette d'alarme au niveau international quant à notre capacité à nourrir la planète. Bien que ce chiffre soit encore cité par les décideurs politiques, l'estimation ultérieure de la FAO en vue d'une augmentation de 70% de la production agricole semble s'être imposée comme le chiffre le plus communément cité. La plus récente mise à jour de la FAO en Juin 2012, qui a réduit le chiffre à 60%, est reconnue comme la meilleure

et la plus fiable estimation par la FAO et par les décideurs en politique alimentaire, bien que le chiffre de 70% reste largement cité par les gouvernements et les médias.

Quelle fiabilité donner à ces estimations? Il y a un certain nombre d'idées fausses sur la nature de cette modélisation, et elles ont des implications non seulement pour envisager tout effort visant à évaluer ce qui est susceptible de se produire, mais aussi pour tout ce qui pourrait arriver sous différents scénarios faisant varier à la fois les politiques et les contraintes environnementales. Tout d'abord, dans ses présentations, la FAO montre clairement qu'elle ne répond pas à la question « Comment pourrions-nous nourrir la planète en 2050? » Elle est intéressée par la question beaucoup plus directe suivante: La production mondiale augmentera-t-elle suffisamment pour satisfaire la demande projetée?

Ils répondent par l'affirmative. Et les estimations de la FAO doivent en effet offrir une certaine assurance – avec des réserves très importantes – à ceux qui s'alarment sur notre capacité à produire suffisamment pour nourrir la population en 2050. Pourquoi est-ce rassurant? Parce ce que:

1. La grande partie des données a été mise à jour en tenant compte d'années de référence plus récentes (2005-7) et les modélisateurs ont incorporé des estimations récentes améliorées de la demande alimentaire, des ressources terrestres et hydriques, etc. En fait, le passage de 70% à 60% reflète moins un changement dans la demande estimée qu'un chiffre actualisé (et supérieur) considérant la production réelle au cours de la période de référence 2005-2007.
2. Cela est basé sur les chiffres largement acceptés – mais encore incertains – portant sur la croissance de la population (9,15 milliards en 2050³), les estimations bien établies de la croissance économique (croissance du PIB mondial moyen de 1,36% par an), et la croissance attendue de la demande (de tous les produits de base, de toutes les utilisations, croissance annuelle de 1,1%), qui intègrent le changement attendu dans les pays en développement vers plus de régimes alimentaires carnés.
3. Les estimations concernant la croissance des rendements agricoles sont modérées mais conformes aux tendances historiques (1,1% par an). En d'autres termes, la FAO n'est pas parvenu à son estimation de la demande en 2050 (qui comprend des améliorations significatives de la consommation alimentaire par habitant) en supposant des gains de productivité irréalistes.
4. L'estimation de la FAO ne suppose pas non plus une conversion de terres à des fins agricoles qui serait peu vraisemblable, ce qui s'observe dans certains modèles biophysiques. La FAO fait l'hypothèse que 70 millions d'hectares seront utilisées pour l'agriculture en 2050, une augmentation de 9% par rapport à l'année de base (2005-07).

³ Les estimations des taux de croissance démographiques varient beaucoup d'un pays à l'autre. Alexandratos et al (2012) remarquent que la majorité des pays pour lesquels la croissance démographique restera rapide dans l'avenir sont aussi ceux pour lesquels la faim et la malnutrition posent déjà un immense problème, notamment en Afrique Sub-Saharienne.

5. La FAO valide ses projections sur la base de données d'années plus récentes et sur la base de projections conjointes de la FAO et de l'OCDE de dix années allant jusqu' à l'horizon 2020 (OCDE-FAO 2011).

Ainsi, les dernières estimations de la FAO donnent l'assurance de façon substantielle qu'avec des politiques appropriées (investissement, recherche agricole, etc.) l'agriculture mondiale sera capable de répondre à la demande projetée (pour l'usage alimentaire et non alimentaire) en 2050. Quelles sont donc les réserves à apporter à cette vision optimiste? Les hypothèses inhérentes à cette approche laissent deux problèmes majeurs en suspens. Ce sont :

1. L'expansion des biocarburants :

Le modèle de la FAO s'intéresse principalement à l'offre et à la demande de produits alimentaires, bien que les chercheurs estiment l'offre agricole totale et la demande pour tous les usages (alimentaires, aliments pour animaux, pour l'industrie non-alimentaire, pour les semences – y compris la prise en compte des gaspillages). En tant que tels, les scénarios liés aux biocarburants ne reçoivent pas l'attention qu'ils méritent. Pour arriver à leur estimation de 60%, les chercheurs de la FAO supposent l'expansion des biocarburants pour répondre aux impératifs actuels jusqu'en 2020, et aucune autre expansion au-delà. C'est à la fois irréaliste et, du point de vue des décideurs politiques, ce scénario s'avère donc inutile. Les estimations actuelles prévoient que la demande de biocarburants de première génération en 2030 double les niveaux envisagés par la FAO (IEA 2012). Les responsables politiques auraient davantage besoin d'une analyse montrant l'impact de différentes politiques et scénarios relatifs aux biocarburants.

2. Le changement climatique :

Les auteurs reconnaissent, en présentant leurs excuses, qu'ils n'étaient pas en mesure d'intégrer dans leur modélisation les impacts du changement climatique sur la production agricole. Étant donné que même si nous étions en mesure aujourd'hui de mettre en œuvre toutes les politiques de mitigation et d'atténuation connues, nous devrions quand même nous attendre à un changement climatique important en 2050, il est donc clair que les projections de la FAO ont besoin d'ajustements significatifs. Comme le reconnaissent les auteurs, «En principe, un scénario qui ne suppose aucun changement climatique n'a pas sa place dans l'éventail des scénarios à examiner.» (P. 93)

De toute évidence, ces deux lacunes ne sont pas insignifiantes. Ceci suggère que les projections de la FAO pèchent par excès en surestimant la disponibilité de la nourriture, car les deux tendances suggèrent des effets négatifs au niveau mondial.

Ces questions, et bien d'autres, ont été abordées lors d'une réunion d'experts convoquée en 2009 par la FAO pour évaluer les conséquences de la crise des prix alimentaires sur notre capacité à répondre aux besoins alimentaires futurs. La réunion a rassemblé des chercheurs d'institutions clés en s'appuyant sur une large gamme de modèles. Les documents qui en ont résulté ont ensuite été publiés dans un livre intitulé

Looking Ahead in World Food and Agriculture: Perspectives to 2050 (Conforti, 2011). Le volume comprend des mises à jour utiles sur les articles de 2009 et des documents et analyses supplémentaires, y compris une comparaison des principaux modèles et une évaluation de leurs différences, leurs points forts et leurs limites relatives. En tant que tel, il représente l'un des efforts les plus complets pour recueillir et évaluer les résultats issus d'un éventail de modèles reflétant une grande diversité de perspectives de recherches.

Le présent article ne prétend pas résumer les résultats riches en enseignement de ce travail collectif. Ici, le but est de caractériser globalement les contributions importantes des modèles, de relever certains de leurs résultats les plus importants, et d'identifier certains de leurs points forts et certaines de leurs limites en ce qui concerne les objectifs plus larges de projection de la production agricole et de consommation future, ainsi que d'identifier les tendances clés qui sont susceptibles d'être influencées par les politiques.

Alexandratos (2011) fournit une excellente comparaison des principaux efforts de modélisation contenus dans le volume de la FAO. Ils comprennent:

- Un modèle d'équilibre partiel de l'offre et de la demande de la FAO, tel que décrit ci-dessus. Il comprend aussi une modélisation importante de la FAO concernant les terres, l'eau et d'autres contraintes de ressources (semblables à celui d'Alexandratos et Bruinsma 2012), basée sur l'évaluation de la FAO et de l'IIASA effectuée par GAEZ de la disponibilité de terres de différentes qualités pour la production agricole.
- Les projections de la Banque Mondiale, en utilisant son modèle d'équilibre général ENVISAGE à base de GTAP pour étudier les implications des scénarios de croissance économique, de croissance de la productivité agricole, de la pauvreté et des impacts potentiels des changements climatiques et des marchés de l'énergie sur ces résultats.
- Une évaluation plus pessimiste de certaines de ces questions économiques, en particulier en relation avec la pauvreté.
- La modélisation détaillée de l'IFPRI des impacts du changement climatique sur l'agriculture à l'aide de son modèle d'équilibre partiel IMPACT.
- Les travaux de l'Institut International pour l'Analyse des Systèmes Appliqués (IIASA), en utilisant son modèle d'équilibre général, pour procéder à une modélisation détaillée des scénarios liés à la fois au climat et aux biocarburants.

Alexandratos fournit un guide utile concernant les différences entre ces modèles et les raisons de leurs résultats divergents en termes de projections à l'horizon 2050 dans la mesure où ces raisons peuvent être identifiées à partir du contenu des documents et des communications avec certains auteurs sélectionnés. En ce qui concerne les projections des prix à partir des scénarios de référence, il trouve un certain accord entre les modèles dans leurs projections de l'offre et de la demande et les prix mondiaux. (Dans la plupart des modèles économiques, le prix est la variable clé, car c'est lui qui permet d'ajuster l'offre à la demande.) Fait intéressant, ces modèles montrent une plus grande modération des prix que la plupart des caractérisations actuelles de prix élevés des denrées alimentaires. Ces modèles montrent généralement des prix inférieurs aux prix «post-flambée» de ces dernières années, globalement en phase avec les niveaux des prix «pré-

flambée » et ce jusqu'en 2030, avec ensuite une remontée jusqu'en 2050 à un niveau d'environ 30% au-dessus des prix d'avant la récente flambée. Ceux-ci sont encore bien en dessous des niveaux actuels de prix « post-flambée ».

Les prédictions des résultats de l'horizon 2050 sont bien sûr sensibles aux hypothèses de croissance économique – une croissance économique plus rapide augmentant la demande à un rythme similaire. La modélisation de la Banque mondiale a tendance à être optimiste dans ce domaine, en supposant un taux de croissance moyen de 1,6% pour les pays à revenus élevés et 5,2% pour les pays en développement (van der Mensbrugge, Osorio-Rodarte et al. 2011, p. 206). Le modèle est également plus optimiste quant à la croissance de la productivité agricole, en supposant une croissance de 2,1% de la productivité totale des facteurs, supposée se produire en raison de l'innovation technologique. Aucun de ces modèle ne prend en compte de manière détaillée les contraintes de ressources sur la croissance et la productivité, bien que les modélisateurs de la Banque Mondiale ajustent à la baisse leur taux global de croissance de la productivité agricole à l'horizon 2030 – de 2,1% par an à 1,76% par an pour tenir compte des changements climatiques.

Hillebrand (2011) propose une évaluation plus réaliste, présentant un scénario de forte croissance basé sur la «priorité au marché», semblable aux hypothèses de la Banque Mondiale, et un scénario de faible croissance qui suppose que les pays en développement croissent à des taux comparables au rythme des 25 dernières années. Ce scénario de «croissance tendancielle» pour les pays en développement produit des résultats qui donnent à réfléchir, car les régions connaissant les croissances les plus lentes continuent sur cette trajectoire de faible croissance. (Voir le tableau 1 ci-dessous, extrait de Hillebrand, p.183). Son indicateur est la pauvreté, et il estime qu'avec la croissance tendancielle l'extrême pauvreté dans le monde serait de 20% au lieu de 2,6% prévu dans le scénario de la «priorité au marché». Les mêmes scénarios soulignent aussi à quel point les performances régionales peuvent être différentes. Dans le scénario de «croissance tendancielle », l'Afrique Subsaharienne aurait 53% de sa population vivant dans l'extrême pauvreté – un pourcentage supérieur à celui de 2005 – au lieu de 12% dans le scénario le plus optimiste; 78% tomberaient en dessous du seuil de pauvreté de 2.50 dollars par jour.

Tableau 1: Scénarios impliquant une forte et une faible croissance (tirés de Hillebrand 2011, p. 183)

Pauvreté dans les régions à faible croissance: une comparaison de scénarios						
	2005		2050 scénario "priorité au marché"		2050 scénario de croissance tendancielle	
	\$US 1.25 /jour	\$US 2.50 /jour	\$US 1.25 /jour	\$US 2.50 /jour	\$US 1.25 /jour	\$US 2.50 /jour
<i>(millions de gens en-dessous du seuil de pauvreté)</i>						
Amérique Latine	46.1	122	7.8	21.1	56.9	147
Proche-Orient et Afrique du Nord	11	86.7	0.7	2.5	9.4	48.1
Afrique Sub-Saharienne	391	614	205	533	930	1,364
Monde	1,377	3,085	245	710	1,120	1,948
<i>(% population)</i>						
Amérique Latine	8.4	22.1	1	2.7	7.4	19.2
Proche-Orient et Afrique du Nord	3.6	28.4	0.1	0.6	1.7	8.9
Afrique Sub-Saharienne	51.2	80.5	11.7	30.5	53.1	77.9
Monde	21.3	47.7	2.6	7.6	12	20.9

Source: données 2005 tirées de Chen and Ravallion, 2008; projections 2050 calculées par l'auteur

Hillebrand met en garde à juste titre contre la modélisation fondée sur des hypothèses qui permettraient de résoudre les contraintes en ressources environnementales grâce au changement technique. Comme le note la FAO dans l'introduction de sa collection d'études, «on ne peut pas s'attendre nécessairement à un rattrapage [des pays les plus pauvres], en particulier si les institutions et les investissements ne sont pas adéquats » (Conforti 2011, p. 5).

En effet, Fischer, Byerlee et al (2012a) avertissent qu'on ne dispose que de peu de preuves montrant que les modifications génétiques permettraient d'améliorer considérablement les rendements dans les trente prochaines années, et qu'il devient donc essentiel de combler les écarts de rendements en utilisant les technologies existantes. Ils estiment que nous avons besoin d'une croissance moyenne des rendements annuels de 1,25% pour répondre aux besoins alimentaires mondiaux en 2050. (Notons, cependant, que selon les dernières prévisions de la FAO le rendement moyen des céréales à l'échelle mondiale devrait croître de 0,7% par an pour répondre à la demande en 2050 (Alexandratos et Bruinsma, 2012, Tableau 4.13).

Alexandratos note aussi de grandes variations dans les hypothèses sur les niveaux de consommation. Certaines résultent de la dépendance de données anciennes ou irréalistes historiques utilisées dans les années de référence des modèles et certaines de différentes

hypothèses concernant la croissance économique, à laquelle tous les modèles économiques sont particulièrement sensibles. Il estime que les projections de consommation de l'IFPRI sont trop faibles pour ces raisons, alors qu'il trouve celles de l'IIASA trop élevées en raison d'une estimation de base initiale trop haute. Il considère que les estimations de la FAO sont plus réalistes car reposant sur des données historiques plus actualisées et ayant été validées par rapport à des chiffres de consommation plus récents et par rapport aux projections de l'OCDE et de la FAO allant jusqu'en 2020.

L'autre variable qui a une grande influence sur les résultats de la modélisation est la croissance démographique. Plus la population est élevée, plus grande est la demande de produits agricoles. La FAO utilise une estimation en 2050 de 9,15 milliards de personnes, qui se fonde sur la moyenne de trois scénarios démographiques provenant de la révision de la population des Nations Unies en 2008. Les chercheurs reconnaissent, cependant, que l'incertitude persiste et différentes tendances changeraient les projections de façon significative. Fait intéressant, Alexandratos note que, parmi les modèles que la FAO inclut dans son volume, il y a une grande variation dans les hypothèses de la population ce qui explique certaines des différences dans les résultats. Par exemple, un des scénarios suppose un changement climatique associé aux gaz effet de serre provenant d'un scénario (le IPCC SRES A2) dans lequel la population de 2050 atteindrait 11,3 milliards. Il existe différentes hypothèses démographiques (implicites ou explicites), à l'intérieur du même modèle, et Alexandratos recommande qu'une attention plus grande soit portée à l'utilisation claire et cohérente des hypothèses relatives à la population.

Tomlinson (2011) propose une critique utile de ce qu'elle appelle le «nouveau productivisme» basé sur des modèles économiques qui sonnent l'alarme sur les déficits qui se profilent à l'horizon concernant la production mondiale, faisant écho à la critique de Soil Association (2011) regardant les chiffres largement cités de 70% à 100% mentionnés auparavant. Comme elle le souligne, «augmenter la production d'une telle ampleur n'a jamais été conçu comme un objectif normatif de la politique et, d'autre part, le faire contribuerait à exacerber de nombreux problèmes existants avec le système alimentaire mondial actuel» (p. 1). Elle met en garde contre un cadre idéologique influençant une conception particulière de la question de la sécurité alimentaire, qui définit celle-ci comme un problème de production plutôt que d'accès et d'utilisation. Elle note également que:

- La plupart de ces estimations surestiment les besoins alimentaires futurs, car elles tirent les volumes alimentaires nécessaires de calculs de valeurs. Lorsque la part dans les régimes alimentaires mondiaux des aliments à forte valeur (tels que les viandes) croît, les augmentations en volumes sont surestimées. Il a été montré, par exemple, que si le poids des denrées était utilisé à la place de la valeur monétaire, les besoins estimés seraient réduits de 6% (DEFRA 2010). (Les dernières projections de la FAO abordent cette question - Alexandratos et Bruinsma, 2012, encadrés 1.1 et 3.1.)
- Les fruits et légumes sont généralement exclus de ces projections, principalement parce qu'ils ne sont pas traités comme des cultures commerciales (Wright, 2010).

(Les dernières projections de la FAO prennent en compte les fruits et légumes en tant que produits distincts.)

- L'indicateur utilisé dans de nombreuses études est basé sur la consommation alimentaire par habitant en calories, provenant des estimations sur la disponibilité. Ces projections de la disponibilité des aliments permettent de plus larges estimations de tendance, mais négligent les aspects liés à la demande, tels que le gaspillage alimentaire, sans oublier les questions d'inégalités dans l'accessibilité et la répartition (Barrett 2010).

Tomlinson recommande d'aller au-delà de ces modèles économiques et de se consacrer aux efforts qui tiennent compte des préoccupations en matière de santé, d'équité et d'environnement et qui modélisent des alternatives différentes au modèle qu'elle qualifie de «productivisme».

La difficulté de la modélisation économique de long terme

L'ensemble des études et analyses de la FAO est une bonne représentation de la modélisation économique qui a généré certaines des estimations les plus souvent citées des besoins alimentaires en 2050. Les observations d'Alexandratos mettent en lumière les défis inhérents à une telle modélisation de long terme et la sensibilité des résultats aux hypothèses concernant les variables de grande incertitude - économiques, environnementales, et celles liées à la politique. En effet, souvent, ces hypothèses ne sont explicitées que dans les annexes techniques des études, et parfois ignorées. Les résultats, cependant, sont généralement présentés avec un degré élevé de certitude. Ils sont ensuite souvent repris de façon définitive par les décideurs politiques et les médias dans leurs efforts visant à simplifier des sujets complexes. Tel est le cas des études estimant la production et la demande agricole à l'horizon 2050.

En effet, Reilly et Willenbockel (2010), dans un excellent survol de la modélisation du système alimentaire, mettent en garde contre ce problème précis. « Les résultats issus de l'estimation d'un modèle ne doivent pas être interprétés à tort comme des prévisions ayant des intervalles de confiance précis. Au contraire, ils sont destinés à fournir des indications chiffrées sur les interactions complexes dans un système fortement interdépendant et sur l'ordre de grandeur potentiel général des effets à attendre, indicateurs qui ne peuvent être obtenus uniquement par une approche qualitative et théorique ». (p. 2053)

Ils soulignent que cette modélisation nécessite la mise en correspondance d'un système incertain - la production et la consommation agricole - avec un autre - les écosystèmes. Les deux systèmes se caractérisent par des lacunes dans les données et les connaissances, une fiabilité limitée dans la prédiction du futur à partir des tendances du passé, et une instabilité concernant le comportement futur des systèmes. Un ensemble d'incertitudes s'imbrique l'une à l'autre, laissant, logiquement, un éventail pratiquement illimité de résultats possibles. Cela est vrai en tenant juste compte des «inconnues que l'on connaît», comme la mesure dans laquelle la hausse des niveaux de CO2 a des effets

positifs sur la production agricole (effets fertilisants du CO₂) ou dans laquelle la croissance de la productivité agricole sera plus ou moins élevée ou basse en fonction de facteurs historiques. Y ajouter les «inconnues qu'on ne connaît pas», telles que des événements climatiques extrêmes, mais de faible probabilité, limite nécessairement encore plus le potentiel prédictif de la modélisation à long terme.

Une dernière mise en garde est partagée par la plupart des chercheurs impliqués dans cette modélisation. Les estimations mondiales de notre capacité à « nourrir la planète » s'appuient essentiellement sur des estimations mondiales de l'offre et de la demande, et pourtant les écosystèmes et la production agricole existent à des échelles locales et régionales. La question de la faim et de la malnutrition se pose aussi à des échelles locales et régionales. Ainsi, les estimations mondiales de « notre » capacité à nourrir « la planète » s'avèrent intrinsèquement défaillantes⁴, nécessitant que l'on réponde à des questions plus importantes concernant la façon dont ces systèmes se développent à travers des régions, des sociétés et des niveaux de développement économique différents, et dans quelle mesure la nourriture est alors équitablement distribuée. En fin de compte, «la planète» n'est pas alimentée, globalement, et il n'y a pas de «nous» collectif qui soit l'acteur de cette alimentation.

Pourtant, même si les interprétations existantes erronées des résultats de la modélisation doivent être abandonnées, ces efforts ont encore beaucoup à offrir à ceux qui cherchent à identifier les voies à suivre à l'avenir. Au mieux, ils peuvent défier la «cartographie mentale» des décideurs en faisant ressortir les implications plausibles du monde réel et des choix à faire entre les politiques qui font comme si de rien n'était et les approches alternatives. Ils peuvent également évaluer l'importance relative des différents facteurs de changement.

Dans l'univers de la modélisation économique, Thomas Hertel a présenté un ensemble intéressant d'observations sur l'état de la modélisation agricole actuelle au cours de son allocution présidentielle à l'Association de l'Agriculture et d'Economie Appliquée en 2011 (Hertel 2011). A plusieurs égards, ses observations font écho à celles de l'étude de la FAO citée plus haut:

- La croissance du revenu est une variable clé et elle s'est avérée très stable dans le temps, bien que nous voyions maintenant une croissance rapide du revenu dans (certains) pays en développement par rapport aux pays riches. Cela a des implications concernant les changements de régimes alimentaires et l'augmentation de la demande, mais ces relations sont relativement bien comprises et, bien que pouvant faire l'objet de modifications, sont moins difficiles à modéliser.
- La croissance des rendements a ralenti, comme beaucoup l'ont noté, mais Hertel n'y voit pas de raison de s'alarmer. Il cite des études de mise en garde, par exemple de

⁴ L'étude de la FAO donne à ce point une importance particulière: « ... examiner la question de l'insécurité alimentaire au moyen de variables globales (le monde peut-il produire toute la nourriture nécessaire pour que chaque personne puisse être bien nourrie?) n'a pas grand sens. » et « en conclusion, la question de savoir si l'insécurité alimentaire peut être éliminée à la fin du 21ème siècle est entourée d'incertitude, quel que soit le degré d'assurance que l'on puisse avoir sur le potentiel de production global, pour lequel il n'y a pas de contrainte insurmontable » (Alexandratos and Bruinsma, 2012, p. 20-21)

Fischer, Byerlee, et Edmeades (voir la version actualisée de Fischer, Byerlee et al. 2012b) qui notent que la croissance du potentiel de rendement dans une vingtaine de régions «greniers» du monde a ralenti à moins de 0,5% par an. Mais il est d'accord avec la FAO pour estimer que la croissance du rendement va de pair avec un ralentissement de la croissance de long terme de la demande.

- Le potentiel du rendement varie considérablement selon les cultures et les régions, mais en général, les écarts de rendements sont faibles sur les terres irriguées actuelles, qui sont généralement exploitées à 80% du potentiel de rendement et représentent 40% de la production agricole mondiale. Il y a des gains potentiels beaucoup plus grands à faire sur les terres irriguées par les pluies, où les rendements sont souvent en dessous de 50% du potentiel (Lobell, Cassman et al. 2009). Il cite des études montrant qu'en permettant à ces terres de réaliser leur potentiel, en utilisant la technologie existante, on pourrait générer une augmentation de la production en 2050 de 60% pour le blé, 50% pour le maïs, 40% pour le riz, et 20% pour le soja dans les terres cultivées actuelles (Monfreda, Ramankutty et al 2008; Licker, Johnston et al 2010). La plupart de ces terres sont dans les régions moins développées des pays en développement, représentant à la fois une contrainte (ressources) et une opportunité (réduction de la faim et de la pauvreté).
- L'urbanisation aura un impact significatif sur l'offre disponible de terres dans les pays en développement clés tels que l'Inde et la Chine, mais globalement elle ne représentera pas une influence aussi importante sur les terres disponibles que certains le suggèrent (p. 267).

Hertel fournit des critiques et des suggestions utiles pour la modélisation à l'avenir. Il souligne l'importance de l'élasticité de long terme de la demande de nourriture pour l'utilisation des terres agricoles, c'est-à-dire, comment une demande croissante pourrait se traduire en une conversion des terres. Il met en garde que de nombreux modèles économiques pourraient exagérer les conséquences en termes d'utilisation des terres de la hausse de la demande agricole sur la base d'élasticités qui sont trop élevées. Hertel se fait également l'écho des avertissements souvent répétés sur la modélisation des incertitudes liées à la production de biocarburants et aux changements climatiques. Il souligne que Searchinger (Searchinger, F. Dong et al. 2008) a surestimé le changement indirect dans l'utilisation des terres, parce qu'il n'a pas tenu pleinement compte de l'intensification des rendements lorsque la demande augmente. Mais il note qu'à long terme, les prix mondiaux du pétrole seront les principaux déterminants de la demande de biocarburants. Avec des estimations atteignant en 2030 (selon lui) entre 50 et 200 dollars le baril, les incertitudes sont extrêmes. En plus de la nécessité de tenir compte des incertitudes climatiques, il cite des études qui montrent un large éventail d'estimations (voir, par exemple, Hertel, Burke et al. 2010).

Un prochain numéro spécial de la revue *Agricultural Economics* apporte une contribution importante à cet effort. Le numéro rassemble des travaux issus du Projet d'Amélioration de la Modélisation Agricole (AgMIP), un effort commun pour améliorer la modélisation agricole mondiale notamment en ce qui concerne les principales incertitudes telles que le changement climatique et la production de biocarburants. La publication compare les résultats de dix modèles différents en harmonisant certaines de

leurs principales hypothèses – la croissance démographique, la croissance du PIB, la croissance de la productivité agricole, les prix de l'énergie, les années de référence – puis introduit des scénarios alternatifs d'ordre socio-économique et liés aux changements climatiques et à la bioénergie⁵. Bien que l'objectif soit d'améliorer la modélisation par l'identification des différences importantes dans leurs hypothèses (en tenant compte de ces variables), la comparaison offre un riche ensemble de résultats provenant des différents modèles économiques. Les auteurs indiquent clairement que les simulations ne sont pas nécessairement fondées sur les scénarios les plus réalistes. Toutefois, elles permettent de tirer un certain nombre de conclusions importantes, qui sont résumées dans le chapitre d'aperçu général généreusement mis à notre disposition pour cette étude (von Lampe, Willenbockel et al. 2013).

Ils concluent que:

1. Les hypothèses sous-jacentes, qu'AgMIP prend en compte, expliquent les différences importantes dans les résultats de la modélisation. Leur prise en compte réduit considérablement les écarts entre les modèles. Le scénario de base, qui n'incluait pas les impacts du changement climatique, se fait l'écho des estimations de la FAO selon lesquelles bien qu'il soit peu vraisemblable que les prix des matières premières agricoles continuent sur la lancée du déclin historique qu'ils ont connu entre les années 1960 et 2005 (évalué à -4% par an en termes réels), les modèles s'accordent généralement entre eux pour montrer que les augmentations de prix seront très limitées (les estimations allant de -0,4% par an à +0,7% par an). Cela reflète une variation de 60% à 111% dans les estimations de l'augmentation de la production agricole mondiale de 2005 à 2050.
2. Toutes les variables contrôlées ont une grande incidence sur les résultats futurs y compris les scénarios relatifs à 2050. Bien que nous sachions beaucoup de choses sur elles, et disposions de données historiques relativement bonnes dans la plupart des cas, toutes présentent des incertitudes importantes qui ne peuvent pas être résolues de façon concluante. Un scénario changeant les hypothèses du niveau « intermédiaire » vers un scénario de population élevée, avec faible croissance du PIB, a montré à quel point les résultats pourraient être pires pour la production, la consommation et les prix. Si la population des pays en développement progresse de 11% en plus d'ici 2050 et que la croissance du PIB baisse de plus de 30% en raison des taux annuels de croissance lents, la consommation en calorie par habitant sera nettement inférieure, de -6 à -10% dans le monde, et encore plus faible dans les régions les plus pauvres.

⁵ La comparaison a porté sur les modèles suivants: Asia-Pacific Integrated Model (AIM) de l'Institut National Japonais pour les Etudes de l'Environnements; ENVISAGE, modèle de la FAO basé sur le modèle LINKAGE de la Banque Mondiale; Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) du MIT; Modèle Global Trade and Environment Model (GTEM) de l'Institut Australien ABARES; Modèle Future Agricultural Resources Model (FARM) du USDA; Modular Applied GeNeral Equilibrium Tool (MAGNET) de l'Université de Wageningen; Global Change Assessment Model (GCAM) du Pacific Northwest National Laboratory; Global Biosphere Optimization Model (GLOBIOM) de l'Institut IIASA; Le modèle IMPACT (International Model for Policy Analysis of Agricultural Commodities and Trade) de l'IFPRI; Le Modèle MAgPIE (Model for Agricultural Production and its Impact on the Environment) du Potsdam Institute for Climate Impact Research.

3. Contrairement à de nombreuses estimations antérieures, les scénarios de changement climatique ont montré clairement des impacts négatifs sur les rendements au niveau mondial. Les scénarios modélisés ont été reconnus comme « le pire des cas », avec un changement de température élevé et aucune fertilisation du CO₂. Mais les modèles ont généralement montré des effets négatifs sur le rendement et la production, conduisant à des prix plus élevés. Les estimations des prix ont varié entre les modèles de 2% à 79%. La disponibilité des calories par habitant baisse à travers le monde, et certaines des estimations les plus extrêmes suggèrent qu'elle pourrait être jusqu'à 11% plus faible pour l'Inde par rapport au scénario de base ou il n'y a «aucun changement de climat»⁶. (Comme certains l'ont souligné, ce dernier résultat pourrait ne pas être crédible, ce qui souligne l'importance de l'effort d'amélioration de la modélisation entrepris par AgMIP.).

4. Les demandes issues de la production de biocarburants de deuxième génération sont prévues avoir des effets relativement modestes sur la production alimentaire, la consommation et les prix, plus faibles que les impacts du changement climatique. Les prix des matières premières agricoles sont estimés être de 9% en moins avec un développement significatif des biocarburants de deuxième génération. Malheureusement, les scénarios modélisés ici comparent seulement des scénarios post-2030 portant sur le développement de la bioénergie de deuxième génération, laissant de côté la croissance hypothétique et inexplorée des biocarburants de première génération d'ici à 2030, et au-delà jusqu'en 2050. Ainsi, il est important de remarquer que ces modèles négligent de prendre en compte les implications de l'expansion de la production de première génération, alors que ces scénarios postulent des hausses de la demande de biocarburants plus fortes que la plupart des autres modèles présentant des résultats à l'horizon 2050. (Nous y reviendrons, lorsque nous examinerons la modélisation de la production de bioénergie.)

Les auteurs concluent en soulignant que la modélisation de scénarios est cruciale pour la politique et les décisions d'investissement, donc qu'« il est indispensable de rapprocher les décideurs et les modélisateurs afin d'améliorer l'échange et le dialogue entre eux.»

La modélisation à l'échelle mondiale

Reilly et Willenbockel (2010) fournissent une typologie utile des modèles et une analyse détaillée de ce qu'elle propose⁷. Ils font la distinction entre les projections, les scénarios exploratoires, et les scénarios normatifs. Les projections comprennent des initiatives entreprises par la FAO et la plupart des autres études examinées jusqu'à présent. Elles incorporent la modélisation de référence, telle que celle de la FAO, ainsi

⁶ Les auteurs notent que les modèles céréaliers ont fait l'hypothèse de l'absence de tout effet de fertilisation supplémentaire dû à des niveaux atmosphériques supérieurs de CO₂, ce qui veut dire que les résultats se basent de ce point de vue-là sur une trajectoire de "cas le pire possible" pour ce qui est des conséquences possibles du changement climatique.

⁷ Les auteurs passent en revue une large gamme d'études de scénarios globaux, qui comprennent les projections de long-terme de la FAO, le CAWMA, Agrimonde, une étude de Parry qui utilise les scénarios socio-économiques du GIEC, et les scénarios du Millennium Ecosystem Assessment (MA).

que ce que les auteurs appellent la modélisation du scénario « hypothétique » dans lequel un ou deux facteurs sont modifiés pour en évaluer l'importance, par exemple, le genre de scénarios liés au climat et aux biocarburants explorés par Fischer.

Les scénarios exploratoires impliquent l'introduction d'un ensemble plus complexe de changements interconnectés entre eux. Les exemples comprennent l'incorporation de variables «externes», comme dans la modélisation de Parry, Rosenzweig et al. (2004) des scénarios climatiques du GIEC. Ils comprennent aussi ce que les auteurs appellent des scénarios «stratégiques», comme dans la modélisation du Millennium Ecosystem Assessment (Carpenter, Pingali et al. 2005). Comme le suggèrent leurs noms – Orchestration Globale, TechnoGarden, Ordre par la Force, Mosaïque d'Adaptation – ces scénarios tentent de modéliser les conséquences des différentes voies à emprunter par l'ensemble de la société.

Les scénarios normatifs poussent cette approche plus loin en commençant par les voies souhaitées puis en modélisant les implications de chacune d'elles pour les paramètres clés, en partant de l'utilisation de l'eau et des sols, jusqu'aux mesures de mitigation des changements climatiques et à la production alimentaire. Les auteurs distinguent deux types de scénarios normatifs. Les scénarios de « préservation » modélisent les efforts pour atteindre des résultats tout en préservant les caractéristiques essentielles du système actuel, comme dans le scénario d'investissement optimal en ressources en eau de Fraiture, Wichelns, et al. (2007). La modélisation «transformatrice» est similaire aux scénarios « exploratoires stratégiques » mentionnés ci-dessus, mais les chercheurs définissent un futur désiré et modélisent ce qu'il faudrait faire pour y arriver. Un de ces efforts les plus exhaustifs est le projet Agrimonde, qui définit un système alimentaire durable et équitable pour 2050 et modélise ce qu'il faudrait faire pour atteindre ces objectifs (Paillard, Dorin et al 2011; Paillard, Treyer et al 2011).

Chacune de ces approches offre des enseignements précieux. La modélisation normative peut être la plus provocatrice parce qu'elle tend à mettre en évidence l'écart entre notre démarche actuelle et ce qui est optimal si nous voulons atteindre un objectif particulier. De même, la modélisation «stratégique» définit différentes voies, leurs issues possibles et leurs implications, offrant parfois de forts contrastes en ce qui concerne les résultats de différentes trajectoires sociales.

Ceci est inestimable alors que les sociétés sont confrontées à des problèmes complexes, tels que la capacité de charge de la planète. Dans le cas de la modélisation normative comme dans celle stratégique, la complexité des changements modélisés est telle qu'il est difficile de déterminer à partir des résultats l'effet d'un facteur particulier. Or les décideurs politiques – pour le meilleur ou pour le pire – essaient généralement d'analyser les facteurs isolément. Par exemple, il est impossible de déduire de la modélisation Agrimonde ce que la politique sur les biocarburants optimale (ou son objectif) devrait être pour parvenir à un système alimentaire durable et équitable, parce que le modèle inclut des modifications de beaucoup d'autres facteurs. En fait, Reilly et Willenbockel citent une littérature relativement restreinte sur les effets d'une telle

modélisation sur la prise de décision, qui suggère un changement de politique très limité (voir p. 3060).

Reilly et Willenbockel notent d'autres typologies pertinentes, telles que celles de Cumming (2005) pour les évaluations environnementales intégrées. Elles incluent: «les forces du marché» – où la croissance économique est d'une importance capitale; «le Marché réformé» – avec une plus grande réglementation gouvernementale pour remédier aux externalités; les «clôtures élevées» – avec la montée du protectionnisme; «les changements de valeurs» – un progrès plus vaste vers l'équité et la durabilité; un «monde multipolaire» – caractérisé par une montée du régionalisme. Ils citent la prédominance des hypothèses relatives aux «forces du marché» dans les modèles économiques, qui peuvent limiter l'utilité de ces recherches pour l'élaboration des politiques. Van Vuuren arrive à des conclusions similaires qui font la synthèse d'un ensemble de scénarios archétypiques partageant des caractéristiques communes, et souvent des résultats communs (van Vuuren, Riahi et al. 2012). Thompson et Scoones (2009) présentent une critique plus détaillée de la direction prise par la recherche en sciences sociales concernant les systèmes alimentaires. Ces auteurs préconisent des approches plus multidisciplinaires qui vont au-delà de la croissance économique et se concentrent sur le développement durable et la recherche participative.

Van Dijk (2012) fournit une évaluation précieuse de la modélisation des systèmes alimentaires en mettant l'accent sur les résultats liés à la sécurité alimentaire. Il reconnaît que le changement climatique et les biocarburants sont mal intégrés dans les évaluations à long terme. Et il souligne que la plupart des modèles mettent l'accent sur le volet production avec une attention insuffisante à celui de la consommation. « Ces indicateurs ne couvrent que partiellement les dimensions relatives à la sécurité alimentaire et se concentrent principalement sur la disponibilité et l'accessibilité des aliments, alors que leur utilisation est à peine abordée (à l'exception de l'indicateur très basique qu'est la malnutrition infantile) et la question de la stabilité est complètement omise.» (p. 20) Il fait référence à de nouveaux efforts prometteurs (Projet de Sécurité Alimentaire) pour intégrer dans de telles analyses des données d'enquêtes détaillées sur la consommation des ménages.

La modélisation qui se fonde sur une question définie de manière plus précise, et par conséquent un ensemble plus restreint de changement dans les paramètres, peut s'avérer plus utile aux décideurs (par exemple l'investissement optimal dans les ressources en eau). Pour les décideurs, il se pourrait bien que la modélisation utilisant le scénario « hypothétique » soit la plus utile. Si la base de référence établie par le modèle est transparente, réaliste et prend en compte les incertitudes inhérentes à ces efforts de modélisation de long terme, l'introduction d'un ensemble limité de politiques plausibles ou de changements de paramètres peut permettre d'identifier une gamme d'effets possibles. Ceux-ci, à leur tour, peuvent instruire les décideurs de politiques dans la considération d'alternatives particulières. Nous y reviendrons ci-dessous lorsque nous explorerons la modélisation de politiques pertinentes liées à la nécessité de nourrir la planète en 2050.

Scénarios de modélisation des facteurs principaux du changement

Si l'un des objectifs des scénarios de modélisation est d'informer les décideurs de politiques sur les conséquences de leurs décisions, le problème relatif à la possibilité de nourrir la planète en 2050 soulève plusieurs questions stratégiques en matière de politiques. Toutes les variables qui déterminent les modèles et leurs résultats en rapport avec 2050 ont des implications en termes de politiques, mais certains sont plus directement sensibles que d'autres à des changements de politique. Comme nous l'avons vu, le niveau de croissance du PIB a un impact significatif sur les résultats de 2050, mais les leviers politiques pour atteindre une croissance plus rapide ou plus lente sont multiples et complexes. De même, la croissance de la population détermine les projections de 2050, alors que nous savons que de nombreux facteurs – le développement économique, l'éducation et l'autonomisation des femmes etc. – réduisent les taux de natalité, ces stratégies et leur mise en œuvre étant relativement bien documentées.

Ici, nous nous concentrons sur la modélisation relative à 2050 pour évaluer la mesure dans laquelle d'autres facteurs déterminant la politique ont été bien modélisés pour permettre aux décideurs de mieux évaluer leurs décisions. En particulier, nous examinons les scénarios de modélisation en rapport avec:

- **La croissance de la productivité agricole**, qui est étroitement liée aux investissements dans la recherche et le développement, la vulgarisation, l'irrigation et d'autres domaines pertinents pour la politique publique;
- **L'expansion des biocarburants**, qui est une variable clé, à la fois en termes d'ampleur de la production de biocarburants de première génération et en termes de transition vers des technologies plus durables de deuxième génération.
- **Le changement climatique**, qui pose aux modélisateurs un ensemble considérable d'incertitudes concernant la projection de la production agricole à l'horizon 2050 et au-delà.

La productivité agricole

Comme nous l'avons vu, la modélisation de la production agricole à l'horizon 2050 est extrêmement sensible aux hypothèses concernant la croissance de la productivité agricole. Sur un horizon de temps de 40 ans (2010-2050) chaque variation de 0,1% du taux présumé produit une variation de 4% de la production totale. Si l'incertitude était supposée être dans une fourchette de plus ou moins 0,25%, les niveaux de production résultants seraient dans une fourchette de plus ou moins 11%. Des hypothèses plus optimistes (par exemple, van der Mensbrugghe, Osorio-Rodarte et al. 2011) supposent donc beaucoup plus de nourriture disponible en 2050. Les hypothèses les plus pessimistes (par exemple, Hillebrand 2011) peuvent générer de la panique sur la disponibilité de la nourriture dans l'avenir. De nombreuses incertitudes frappent les tentatives d'estimation de la croissance de la productivité agricole: le changement climatique, les niveaux d'investissement dans l'agriculture, l'efficacité de l'investissement agricole, etc. Pourtant,

les tendances historiques offrent des niveaux de référence fiables pour évaluer la croissance future, et les politiques publiques peuvent augmenter la croissance.

La plupart des scénarios modélisant la productivité agricole simulent des situations pour illustrer l'importance de la croissance de la productivité agricole sans fonder ces scénarios sur les effets documentés des politiques publiques (ou d'autres changements). Ils sont instructifs, car ils mettent en évidence l'importance, par exemple, de l'investissement dans l'agriculture. Mais leurs résultats sont moins pertinents pour évaluer l'impact des politiques, ni n'offrent de prévisions fiables de voies alternatives.

Willenbockel (2011), par exemple, développe un scénario de référence intéressant pour 2030, puis considère un scénario dans lequel la croissance de la productivité est supérieure de 50% pour toutes les cultures dans toutes les régions. Sans surprise, les hausses de prix prévues augmentent de manière modérée avec une hypothèse d'un tel saut de la productivité agricole. Ce scénario soutient l'argument selon lequel il faut investir davantage dans l'agriculture, même si l'hypothèse d'une croissance de la productivité supérieure de 50% n'est pas fondée sur une évaluation minutieuse ni des effets de l'investissement sur la productivité agricole, ni des variations régionales ou selon les cultures en réponses à de tels investissements. Toutefois, un tel scénario « hypothétique » est utile pour attirer l'attention sur l'importance de la question.

Les modélisateurs de la Banque Mondiale ont fait une simulation « hypothétique » similaire de leur scénario de référence, qui part de l'hypothèse optimiste de la croissance mondiale annuelle de la productivité agricole de 2,1% (van der Mensbrugghe, Osorio-Rodarte et al. 2011). Leur modèle a conduit à l'équilibre global de l'offre et de la demande avec de légères baisses des prix comme indicateur. Dans un scénario, ils ont réduit la productivité agricole dans les pays en développement de moitié, donnant le résultat que les prix agricoles mondiaux augmenteraient de 16% d'ici à 2030. Ils ont ensuite exécuté un scénario dans lequel la productivité globale serait réduite de moitié, et le résultat a été une hausse des prix de 35% à l'horizon 2030, ce qui n'est pas surprenant puisqu'une baisse d'un point de pourcentage de la productivité au cours de quarante ans réduit la production mondiale de 34%. (Fait intéressant, ce dernier scénario dans lequel la croissance de la productivité globale est de 1,05%, s'accorde plus avec les hypothèses de base de la plupart des autres modèles.) Encore une fois, ce type de modélisation met en évidence l'importance de la productivité agricole pour répondre aux besoins alimentaires mondiaux, même s'il ne fonde pas nécessairement ces scénarios sur des actions politiques spécifiques ou des trajectoires modélisées de façon externe pour la productivité agricole.

IFPRI a utilisé son modèle IMPACT pour simuler différents scénarios, incluant celui d'une croissance de la productivité agricole élevée résultant d'une série d'investissements (Nelson, Rosegrant et al. 2010). Une productivité plus élevée (les moyennes mondiales n'étaient pas clairement spécifiées) réduirait les hausses de prix projetées pour 2050 pour les trois principales céréales d'une fourchette de 54%–101% à 20%–60%. Comme le soulignent les auteurs, cela aurait des répercussions importantes sur la malnutrition des enfants, l'un de leurs indicateurs clés. Il en serait de même pour l'augmentation de la croissance de la productivité des cultures de base clés que sont le maïs, le blé et le

manioc, et l'augmentation de l'efficacité de l'irrigation, qui ont été modélisés séparément. Un scénario plus récent d'IFPRI suppose une augmentation de la productivité susceptible d'inverser les hausses de prix attendues, causant une réduction d'environ 8% du nombre d'enfants souffrant de malnutrition en 2050 par rapport au scénario du maintien du statu quo, et une réduction de 24% dans la population au bord de la famine (Rosegrant, Tokgoz et al. 2013, p. 95).⁸ Encore une fois, ceux-ci sont utiles moins pour des prévisions que pour mettre en évidence les impacts potentiels des investissements agricoles.

Le projet IAASTD rassemblant plusieurs agences n'a utilisé qu'une simple modélisation pour son rapport exhaustif appelant à un changement radical vers des pratiques plus durables (IAASTD 2009). Mais les chercheurs ont utilisé le modèle IMPACT pour évaluer les trajectoires basses ou élevées suivies par les investissements agricoles à l'horizon 2050. Leur hypothèse de productivité de 1,02% par an dans le scénario de référence a entraîné des augmentations des prix agricoles de 22% à 42% pour les trois principales céréales de base. Le scénario d'investissement faible, avec une croissance annuelle de la productivité réduite à 0,41%, a occasionné des pénuries d'approvisionnement considérables, avec des augmentations prévues des prix de 303% à 1292% ! Le scénario de forte productivité, avec une croissance annuelle de 1,63% de la productivité, a projeté des surplus de récoltes importants, avec des projections de prix baissant de 48% à 73%. Ces projections irréalistes de prix s'élevant énormément ou s'abaissant servent moins comme prévisions et plus comme des indications de l'importance de la productivité agricole, et de la nécessité de l'investissement agricole comme le soutient l'IAASTD.

Nous examinerons plus loin la modélisation portant sur les changements climatiques, qui est évidemment très pertinente pour cette discussion puisque l'une des principales incertitudes est l'impact du climat sur les rendements.

L'expansion des biocarburants

Il est quelque peu surprenant qu'il n'y ait pas eu de modélisation plus prudente des impacts de l'expansion des biocarburants sur la production alimentaire de 2050. Il y a un consensus général sur l'importance de ce facteur. Contrairement au cas du changement climatique, les incertitudes dans la modélisation des demandes en matière de biocarburants sur les ressources agricoles sont relativement bien connues. Elles se rapportent moins aux incertitudes sur les données biophysiques utilisées ou sur les réponses à des conditions changeantes. Les impacts dans le cas des biocarburants de première génération sont directs, en termes de détournement des cultures et d'utilisation des terres. Les politiques en rapport avec les impératifs de consommation sont claires et dont déjà appliquées. Et la trajectoire, au moins sur la période couverte par ces impératifs (10-12 ans), est bien déterminée. Les variables comprennent: des changements dans ces

⁸ La même étude a modélisé des scénarios de prix de l'énergie plus élevés et de demande de viande plus basse.

politiques, les prix de l'énergie, et le choix temporel, l'ampleur et l'impact de l'émergence des biocarburants de deuxième génération.

Une des raisons pour lesquelles la plupart des modèles concernant 2050 tiennent insuffisamment compte de l'expansion des biocarburants est la difficulté d'intégrer un tel phénomène récent dans la modélisation de scénarios qui reposent nécessairement sur des années de base quelque peu datées. Beaucoup de modèles relatifs à 2050 utilisent 2000 comme année de référence, ce qui correspond à plusieurs années avant l'essor des biocarburants. Même les modèles relativement actualisés, avec 2005 comme année de base, permettent mal de rendre compte de la hausse récente de la production de biocarburants. Dans la mesure où ces modèles ne tiennent pas compte de l'expansion des biocarburants dans leurs scénarios, leurs résultats seront d'une utilité limitée. Dans tous les cas, leurs résultats dépendront dans une large mesure des hypothèses qu'ils font sur l'expansion des biocarburants. Par exemple, la FAO dans sa mise à jour de 2012 a incorporé des estimations plus actualisées, mais ses chercheurs supposent une expansion allant jusqu'à 2019, sur la base des projections de l'OCDE et de la FAO, ensuite aucune autre extension allant jusqu'à 2050. Ils reconnaissent que cela sous-estime probablement la demande de biocarburants, qui, notent-ils à juste titre, sera déterminée de manière significative par les prix du pétrole.

L'effort détaillé de Fischer (2011) présente un exemple de genre de scénario «hypothétique» de modélisation, bien qu'aujourd'hui dépassé, selon lequel les décideurs doivent évaluer les questions clés telles que l'expansion des biocarburants. En utilisant un cadre de modélisation basée sur la Zone Agro-Ecologique (ZAE) de la FAO/IIASA et le modèle IIASA du Système Alimentaire Mondial, Fischer modélise une série de scénarios d'expansion des biocarburants, en plus de plusieurs scénarios de changement climatique. Les résultats peuvent paraître datés, s'appuyant sur les données de l'année de base de 2000 et intégrant des données supplémentaires jusqu'à 2008 seulement, mais les résultats sont révélateurs des conséquences des politiques et des voies choisies. Nous résumons ici les principaux scénarios et les résultats.

Tableau 2. Modélisation des Scénarios de Biocarburants

Modélisation des scénarios de biocarburants				
Nom du scénario	Description	Changement de prix en 2050 (%)	Nombre de personnes supplémentaires souffrant de la faim en 2030	Augmentation dans l'utilisation de la terre en 2050 (en %)²
FAO-REF-01	Expansion est gelée aux niveaux de 2008 ¹			
WEO-V1	Projections IEA 2008; 2ème génération de biocarburants dès 2015	7	21 millions	21
WEO-V2	WEO-V1, pas de 2ème génération de biocarburants avant 2030: toute la demande en 2030 provient de biocarburants de 1 ^{ère} génération	11	42 millions	29
TAR-V1	WEO-V1, les mandats en teneur d'éthanol dans l'essence sont tous appliqués dès 2020: ce qui double la demande pour les biocarburants de 1 ^{ère} génération	20	136 millions	48
TAR-V3	TAR-V1, mais rapide adoption de la 2ème génération: 33% de la demande mondiale dès 2020, 50% en 2030	9	74 millions	29
SNS-V1	Scénarios basés sur la part de la 1ère génération en carburants de transport 2020, 2030, 2050: scénario bas - 2%, 2.5% et 3%	4	-	-
SNS-V2	Scénario moyen: 4%, 5%, et 6%	13	-	-
SNS-V3	Scénario élevé: 6%, 7.5%, et 9%	23	-	-
SNS-V4	Scénario très élevé: 8%, 10%, et 12%	35	-	-

¹Scénario de référence: Index de prix base 1990 (1990 = 100): 115; personnes souffrant de la faim: 458 millions; terres cultivées: 1.7 milliards d'ha

²Par rapport au scénario de référence où aucune culture agricole n'est utilisée pour produire des biocarburants

Source: Fischer (2011)

Les résultats sont instructifs (voir le tableau 2). Pour en rendre compte sous une forme narrative, le scénario de base très conservateur et dépassé, le scénario WEO-V1,

qui utilise les projections 2008 de la demande de l'Agence Internationale de l'Energie, montre que, même une demande modérée de biocarburants supplémentaires par rapport aux niveaux de 2008 augmenterait les prix de 7%, accroîtrait le nombre de personnes subissant le risque de famine de 21 millions, et nécessiterait une augmentation de 21% des terres cultivées, même avec un déploiement rapide et progressif des biocarburants de deuxième génération. Si les biocarburants avancés ne sont pas disponibles d'ici 2030 (WEO-V2), les prix augmenteront de 11%, cause des risques de famine pour 42 millions de personnes, et la nécessité d'accroître les terres cultivées de 29%. En d'autres termes, les retards dans la mise en œuvre des biocarburants avancés ont des conséquences graves.

TAR-V1 utilise des estimations plus réalistes de la demande, sur la base d'impératifs et d'objectifs connus. Cela augmente la demande projetée de biocarburants de 100%, avec des résultats spectaculaires – 20% d'augmentation des prix, 136 millions de personnes risquant de souffrir de la faim, une augmentation de 48% des terres cultivées. Seule la mise en œuvre rapide des biocarburants avancés (TAR-V3) atténuera ces effets, avec seulement 9% d'augmentation des prix, mais encore 74 millions de personnes risquant de souffrir de famine, et une augmentation de 29% des terres cultivées.

Les quatre analyses de sensibilité (SNS V1-V4) montrent l'impact croissant sur les prix agricoles de différents scénarios d'expansion des biocarburants de première génération, de 4% dans le bas scénario à 35% dans le scénario élevé. Notons que selon les estimations actuelles, le scénario moyen (SNS-V2) pourrait bien être le plus proche de notre trajectoire actuelle.

Bien entendu, cette modélisation n'est pas parfaite. L'année de base est dépassée, il est donc logique d'utiliser les résultats pour évaluer les répercussions sur les prix des différents scénarios l'un par rapport à l'autre, non pas tant par rapport à l'année de base. En outre, Alexandratos (2011) souligne que le modèle surestime les niveaux de consommation en général, ce qui augmente la demande par rapport à l'offre. Et il suggère que la terre est modélisée de façon inadéquate, avec une demande supplémentaire se traduisant trop facilement en terres cultivées supplémentaires et avec une prise en compte inadéquate des besoins fonciers pour les biocarburants de deuxième génération. Il suggère également que le modèle ne tient pas suffisamment compte des réactions en termes d'offre des agriculteurs face à des prix agricoles plus élevés, ni de l'impact des prix du pétrole sur la demande de biocarburants. Notamment, seules les terres pluviales sont incluses dans cette modélisation.

Pourtant, il est facile de voir pourquoi ce genre de modélisation de scénario « hypothétique » peut offrir aux décideurs une vision relativement claire des conséquences de leurs politiques. Si nous voulons nourrir à moindre coût la planète d'ici 2050, nous devons accélérer le développement et la mise en œuvre des biocarburants avancés et/ou ralentir la demande des biocarburants de première génération en réduisant les mandats en matière de biocarburant (le pourcentage de biocarburant inclus dans l'essence). Dans le cas contraire, nous mettons une pression indue sur les pauvres consommateurs (par des hausses de prix) et sur l'environnement (par les demandes en terres et autres ressources).

Encore une fois, il est surprenant qu'une modélisation plus actualisée n'ait pas été effectuée sur une question aussi importante que les biocarburants. Le tableau ci-dessous montre à quel point la plupart des hypothèses de modélisation sont dépassées par rapport aux projections 2012 du World Energy Outlook (Perspectives Energétiques Mondiales) concernant l'utilisation des biocarburants de première génération. La FAO utilise les projections de la FAO-OCDE concernant l'horizon 2020, qui sont conformes aux estimations du World Energy Outlook, mais ensuite les maintient constantes jusqu'en 2050. Cela laisse l'hypothèse concernant 2030 à moins de la moitié de l'utilisation projetée. Le modèle IMPACT examiné précédemment utilise les hypothèses anciennes de l'année de base et une croissance minimale. Les projections de la Banque Mondiale ne tiennent pas compte explicitement de l'utilisation croissante de biocarburants. Le projet AgMIP plus actuel suppose une croissance de tendance d'ici à 2030, ce qui se traduit par des estimations comparables à celles du WEO.

Tableau 3. Larges variations dans les estimations de l'expansion des biocarburants

Projections de l'utilisation de céréales destinées à la 1^{ère} génération de biocarburants					
(millions de tonnes)					
Modèle	Scénario	2010	2020	2035	2050
WEO 2012 ¹	Programmation actuelle	148	239	421	n/a
Utilisation du modèle		2008	2020	2030	2050
FAO	Alexandratos (2012)	65 (2005)	182	182	183
IMPACT ²	Msangi (2011) scénario de base	20	75	110	110
World Bank ³	van der Mensbrugge (2011)	n/a	n/a	n/a	n/a
AgMIP ⁴	Scénario de base, 1 ^{ère} génération	148	273	397	397
IIASA	FAO-REF-01 (niveaux 2008)	83	83	83	83
	WEO-V1	83	181	206	246
	WEO-V2	83	192	258	376
	TAR-V1	83	327	437	446
	TAR-V3	83	238	272	262

¹ données actuelles de 2010, FAO-OECD (2012); WEO 2012 taux de croissance projetés en 2020 et 2035

² à partir des travaux d'Alexandratos (2011), p. 48

³ Les données ne sont pas actuellement disponibles; l'auteur suppose que les mandats (teneur d'éthanol exigée dans l'essence) sont tous appliqués dès 2009.

⁴ données actuelles de 2010, FAO-OECD (2012); taux de croissance utilisés pour les autres années proviennent du projet AgMIP (Lotze-Campen 2013)

Comme le montre le tableau 3, des scénarios de l'IIASA modélisés par Fischer, son scénario le pire (TAR-V1) semble le plus proche des projections de maintien du statu quo, au moins pour 2030. Ce modèle suppose l'exécution des mandats en matière de biocarburant, et une mise en œuvre lente des biocarburants de nouvelle génération. Mais cette modélisation doit être améliorée afin d'être utile. L'actualisation de l'année de base de Fischer et des paramètres de modélisation, la prise en compte des carences relevées

par Alexandratos, et le changement de scénarios pour refléter quelque peu les considérations actuelles en termes de politique, donneraient un ensemble utile de résultats pour permettre aux décideurs pour mieux gérer l'expansion des biocarburants de telle sorte qu'elle n'entrave pas notre capacité à nourrir la planète dans le futur.

Dans le cadre du projet AgMIP mentionné précédemment, Lotze-Campen, Von Lampe et al. (2013) ont effectué une comparaison des cinq modèles dans lesquels les paramètres de base sont contrôlés, les biocarburants de première génération sont supposés augmenter à leur rythme actuel jusqu'en 2030 puis maintenus constants, mais deux scénarios sont modélisés, l'un avec une faible mise en œuvre des biocarburants de deuxième génération à partir de 2030 et l'autre avec une forte mise en œuvre. Les auteurs estiment des impacts de prix modestes (9%) des biocarburants avancés sur les prix agricoles ce qui suggère que la pression supplémentaire sur les prix causée par les biocarburants de seconde génération sera importante, mais plus faible qu'avec les biocarburants de première génération. Si les biocarburants avancés remplacent les biocarburants anciens (pas considérés dans cette modélisation), les effets sur les prix et l'utilisation des ressources seraient beaucoup plus faibles.

Le changement climatique

Le changement climatique est l'une des variables les plus difficiles à modéliser. Les difficultés découlent de plusieurs niveaux d'incertitudes associés au changement climatique et à ses impacts sur l'agriculture. Tout d'abord, il existe une incertitude quant à l'ampleur et au moment où le changement climatique sera susceptible de se produire étant donné les niveaux actuels d'émissions. Deuxièmement, les projections à l'horizon 2050 et au-delà doivent tenir compte des incertitudes liées à l'ampleur et au rythme des mesures mises en place pour mitiger et contrecarrer les effets du changement climatique, y compris des changements de politique à l'échelle mondiale qui permettraient de réduire les émissions et leurs impacts futurs. Troisièmement, l'impact de ces changements de température sur les écosystèmes terrestres est imparfaitement maîtrisé. Quatrièmement, il y a une grande incertitude sur les impacts de ces changements sur la production agricole. Cinquièmement, il est difficile de prévoir avec certitude quelles mesures d'adaptation seront prises et leur efficacité. Enfin, les répercussions du changement climatique devraient empirer au fil du temps, ce qui rend l'horizon 2050 trop court pour évaluer adéquatement les risques climatiques.

Wright (2010) fournit un examen approfondi de la littérature sur les politiques de mitigation et d'atténuation des risques climatiques et les impacts potentiels sur notre capacité à nourrir la planète en 2050. Elle trouve peu d'études qui portent sur l'intersection de ces deux questions, mais plusieurs qui portent sur chacune d'elles prise séparément. Ici, nous mettons l'accent sur une partie de la modélisation du scénario qui illustre l'état des connaissances tout en démontrant les difficultés profondes à gérer tant d'incertitudes.

Tout comme avec la modélisation de scénarios pour les autres variables clés, certaines recherches visent moins à prédire les résultats possibles qu'à démontrer l'importance de la question en jeu au moyen de méthodes quantitatives. Willenbockel (2011) s'appuie sur un éventail impressionnant d'estimations externes des impacts du changement climatique à l'horizon 2030 sur la productivité, par région et par culture (voir p. 26 pour les estimations et les sources). Les hypothèses sont pessimistes, en fonction des changements relativement élevés de température et de la sensibilité des cultures au réchauffement, et des effets de fertilisation du CO₂ relativement faibles. Par rapport à son scénario de référence, les hausses de prix sont nettement plus élevées en 2030 pour les principales céréales (environ 140% par rapport à environ 90%), les prix du maïs étant les plus élevés. Et les effets sont particulièrement graves en Afrique Sub-Saharienne.

Fait intéressant, Willenbockel ajoute un scénario d'adaptation réussie au changement climatique en Afrique Sub-Saharienne. Il suppose que les mesures d'adaptation rétablissent les niveaux de productivité agricole dans cette région, comparables à ceux de son scénario de référence, sans changement climatique. Les hausses de prix sont sensiblement atténuées, même avec l'échec supposé des efforts de mitigation ou d'adaptation dans les autres parties du monde. Il en conclut que l'investissement dans l'adaptation au climat au niveau régional aurait des avantages importants pour la production agricole et la sécurité alimentaire (Willenbockel 2011, p. 35).

Fischer intègre dans le modèle IIASA de la World Food Systems deux différents modèles de Circulation Générale (HadCM3 et CSIRO) liés aux projections climatiques du GIEC A2 en fonction des modes d'émission, exécutant des scénarios avec et sans fertilisation du CO₂. Il exécute des scénarios allant jusqu'à 2080, ce qui est utile étant donné qu'on s'attend à une hausse des impacts au fil du temps. Son modèle ne comprend que les terres irriguées par les pluies, ce qui en limite la portée. Il tire trois conclusions de l'exécution de ces scénarios (p. 111):

1. L'impact régional du changement climatique est important, posant des menaces pour la production alimentaire future.
2. Il pourrait y avoir des améliorations dans la production issue des terres irriguées par les pluies, s'il y a un effet fertilisant positif du CO₂ et si les agriculteurs sont en mesure de s'adapter à l'évolution du climat.
3. Le scénario post-2050 est particulièrement inquiétant, car la modélisation montre des impacts de plus en plus négatifs et rapides sur la production dans la plupart des régions.

Fischer combine les impacts des biocarburants et du changement climatique pour les différents scénarios décrits précédemment dans la section sur les biocarburants. Si son scénario pessimiste (TAR-V1) est en effet le plus proche de la trajectoire sur laquelle nous sommes maintenant, et s'il y a une fertilisation limitée du CO₂ pour modérer certains impacts du changement climatique, les perspectives seront désastreuses. Il montre des répercussions sur les prix des céréales de 49% en 2020, à 53% en 2050 et jusqu'à 87% en 2080, bien qu'il soit important de noter que la base de référence de ces

changements suppose que les conditions climatiques actuelles sont inchangées et qu'il n'y a pas d'expansion des biocarburants.

Nelson, Rosegrant et al (2010) ont exécuté une série de scénarios climatiques en utilisant le modèle IMPACT de l'IFPRI. Tout comme Fischer, la référence de base est la mitigation parfaite, c'est-à-dire pas de changement dans le climat à compter de 2010. Les simulations permettent aux chercheurs d'estimer les impacts économiques et sociaux des quatre scénarios climatiques d'intensité croissante, définis comme de plus en plus chaud et de plus en plus humide. En utilisant leurs hypothèses de niveau «intermédiaire» de croissance du PIB et de la population de 2010 à 2050, ils constatent que pour les trois principales céréales de base les prix augmenteraient entre 20% et 32% en plus, équivalant à la moyenne des quatre scénarios de changement climatique, par rapport à la situation de référence de non changement climatique. Comme on peut s'y attendre, le scénario où le changement de climat est le plus intense se traduit par des augmentations de prix de 25 à 30% en plus. Grâce à leurs hypothèses de niveau «intermédiaire» les chercheurs estiment que, par rapport à la mitigation parfaite, les scénarios de changements climatiques augmentent le nombre d'enfants souffrant de malnutrition en 2050 de 8,5% à 10,3%.

Les auteurs font une contribution supplémentaire intéressante, simulant une sécheresse prolongée en Asie du Sud (2030-35), ce qui est une prévision climatique commune. Ceci permet la simulation d'un aspect du changement climatique qui est difficile à prévoir pour la modélisation à long terme – l'augmentation de la variabilité de la température et les événements météorologiques extrêmes. Les résultats montrent de fortes hausses de prix pour les trois principales céréales pendant les années de sécheresse, avec une augmentation spectaculaire du nombre d'enfants souffrant de malnutrition.

Fuss, Havlik et al (2011) utilisent le modèle de Gestion Globale de la Biosphère (GLOBIOM) pour évaluer les impacts sur la sécurité alimentaire des incertitudes des rendements agricoles dues au changement climatique. Si la satisfaction des besoins alimentaires minimaux est définie comme une contrainte du modèle, et si les rendements sont difficiles à prédire étant donné les niveaux d'incertitudes, quels niveaux de production sont nécessaires pour assurer la sécurité alimentaire? Ils concluent que les niveaux élevés d'incertitudes sur les rendements accroissent la nécessité pour les décideurs de planifier les niveaux de surproduction. Ils estiment que cela est possible mais potentiellement coûteux. Ils pensent que la clé du succès est la réduction des obstacles au commerce pour permettre l'écoulement des produits agricoles des régions excédentaires vers les régions déficitaires, et que l'adaptation la plus utile est le développement de l'irrigation, qui peut aider à stabiliser les rendements et accroître la production. Ils reconnaissent que l'utilisation de l'eau en présence de changement climatique est insuffisamment prise en compte dans leur modèle, de sorte que la stratégie d'adaptation elle-même est victime d'incertitudes importantes. Enfin, ils notent l'importance d'augmenter la capacité globale de stockage pour les céréales de base, car cela réduit la vulnérabilité aux types de variations attendues à court terme des rendements dus au changement climatique. C'est l'une des rares mentions que nous avons trouvées dans la littérature, de l'importance potentielle des réserves alimentaires afin de contribuer aux scénarios de sécurité alimentaire mondiale en 2050.

Le projet d'Amélioration de la Modélisation Agricole (AgMIP) confronte directement la grande variabilité dans les simulations climatiques. Comme indiqué plus haut, il s'agit de comparaison de modèles en introduisant des paramètres, des hypothèses, et des scénarios communs. Les différences permettent aux modélisateurs de coopérer pour identifier les sources de résultats aberrants, pour distinguer les effets des paramètres de départ par rapport à l'architecture de la modélisation, et pour améliorer les efforts visant à modéliser les nombreuses incertitudes liées aux impacts du changement climatique sur l'agriculture.

Les résultats dans tous les modèles sont négatifs, un changement notable par rapport aux estimations précédentes beaucoup plus attrayantes des impacts climatiques sur l'agriculture. Alors que les scénarios d'AgMIP peuvent être pessimistes en ce qu'ils ne supposent aucune fertilisation du CO₂, il reste frappant de constater que dans une variété de modèles de circulation atmosphérique générale et de modèles agronomiques, le changement climatique réduit la production. Les différences entre les modèles agronomiques sont plus grandes que les différences causées par les modèles climatiques, et cela a beaucoup à avoir avec la grande diversité d'hypothèses de départ sur la demande, la superficie et la croissance des rendements. Dans leur article à venir sur la modélisation du climat AgMIP, Nelson, van der Mensbrugghe et al. (2013) soulignent que «les hypothèses qui sont généralement cachées dans les rapports techniques peuvent avoir des effets significatifs sur les indicateurs ayant une haute visibilité politique» Ils demandent à ce que cela soit pris en compte de manière prioritaire dans les recherches futures, en plus de demander une plus grande fiabilité des données agricoles pour affiner les modèles agronomiques.

La plupart des chercheurs avertissent également que les scénarios relatifs à 2050 sous-estiment probablement les impacts climatiques, car de nouvelles découvertes scientifiques suggèrent la probabilité d'une plus grande perturbation de l'agriculture (Ackerman et Stanton 2013). En outre, les effets du changement climatique devraient être encore plus graves dans la seconde moitié du siècle. Ceux qui ont prolongé leurs projections à 2080 et au-delà mettent en garde contre les impacts croissants sur l'agriculture après 2050 (par exemple, Fischer 2011).

Scénarios de Modélisation des Ressources Naturelles Clés

Il est également important d'examiner la modélisation des ressources naturelles clés, en particulier les sols et l'eau. Ces modèles biophysiques s'intéressent moins aux caractéristiques économiques telles que l'offre, la demande et le prix, mais plutôt se concentrent sur les tendances dans l'utilisation des ressources sur la base des données biophysiques et de leurs interactions. Les produits sont mesurés en unités biophysiques tels que l'utilisation des sols. Ils fournissent souvent le paramètre biophysique pour la modélisation économique. Ici, nous passons brièvement en revue quelques-unes des modélisations importantes des ressources en sols et en eau.

Les sols

Comme indiqué précédemment, l'utilisation des sols est traitée de différentes manières dans les modèles examinés jusqu'à présent. Dans la plupart des modèles économiques, les terres agricoles disponibles sont identifiées grâce à une modélisation biophysique pertinente, comme GAEZ en ce qui concerne la FAO. La conversion de nouvelles terres à des fins agricoles est alors l'un des résultats du modèle lorsque l'équilibre est établi entre l'offre et la demande. Dans le cas du modèle de la FAO, 70 millions d'hectares de terres agricoles supplémentaires sont nécessaires, soit une augmentation de 9%. Les hypothèses sur la disponibilité des terres peuvent être clés pour déterminer les résultats concernant les autres variables. Par exemple, imposer une contrainte sur l'expansion des terres agricoles dans la modélisation produira beaucoup plus de déséquilibres de l'offre et de la demande et des prix agricoles plus élevés.

Ausubel, Wernick, et al. (2012), par exemple, se basent sur leur modèle d'utilisation des terres pour projeter les pressions sur les terres non cultivées provenant de la demande d'une population croissante et des changements des régimes alimentaires. Leurs conclusions sont pertinentes en partie parce qu'ils y aboutissent à partir de paramètres différents de ceux utilisés dans les modèles socio-économiques. Leur conclusion est, curieusement, d'un optimisme prudent. Ils suggèrent que nous nous approchons peut être du point de « pic de terres agricoles. » Cela signifierait que la soit disant « conservation des terres » – laisser les terres non cultivées dans leurs états précédents, forêt ou autres écosystèmes – pourrait en fait augmenter d'ici 2050. Ainsi, les ressources existantes pourraient être suffisantes pour satisfaire les besoins alimentaires futurs. Leurs résultats sont réservés car ils notent que la « carte imprévisible » de la production mondiale de biocarburants aura une grande influence sur un tel scénario; en fait, elle l'a déjà dans leur modèle, interrompant l'évolution des tendances mondiales d'utilisation des terres agricoles.

Wirsenius, Azar, et al. (2010) ont travaillé à intégrer la modélisation économique de la FAO dans les scénarios biophysiques « hypothétiques ». Ils commencent avec la référence de base de la FAO, qui suggère que d'ici 2030 la surface agricole mondiale devrait progresser de 5,1 milliards d'hectares actuellement à 5,4 milliards d'hectares. Ils modélisent ensuite quatre scénarios, examinant leurs impacts sur l'utilisation des terres. Une accélération de la croissance dans l'efficacité de la production animale (essentiellement l'efficacité alimentaire) réduit l'utilisation des terres de 5,4 milliards à 4,8 milliards ha. Un changement de 20% de consommation en moins de viande bovine compensé par 20% de celles du porc et de volailles, moins intensives en utilisation de sols, réduit l'utilisation des sols à 4,4 milliards d'hectares. Enfin, ils estiment une autre réduction de 15% dans les régions les plus riches de la planète provenant d'un changement plus important de régimes reposant sur moins de viande et sur la réduction des gaspillages alimentaires.

De façon similaire, Tilman, Balzer et al. (2011) considèrent les estimations de la demande mondiale de denrées alimentaires et modélisent les conséquences pour

l'utilisation des sols de scénarios d'intensification et d'extensification. Ils trouvent que la réponse à la demande alimentaire mondiale accrue par une utilisation de plus de terres pour la production (extensification) se traduirait par un milliard d'hectares en plus de terres défrichées en 2050, avec des niveaux élevés d'émissions de gaz à effet de serre et d'utilisation d'azote. En revanche, le scénario d'intensification modérée de la production dans les régions à faible productivité réduirait les demandes de terres de 80%, les émissions des deux tiers, et réduirait légèrement la consommation mondiale d'azote.

L'eau

L'Evaluation Globale de la Gestion de l'Eau dans l'Agriculture (EGGEA) est un bon exemple récent de tentatives d'intégration de données biophysiques et économiques pour l'évaluation de scénarios pertinents pour les politiques (de Fraiture, Wichelns et al. 2007). Le modèle utilise IMPACT pour l'offre et la demande alimentaire et WATERSIM pour simuler celles de l'eau. Ils commencent par les besoins estimés en cultures à l'horizon 2050 et concluent que l'utilisation de l'eau pour cette production devra augmenter de 70% à 90%. L'objectif est de modéliser cinq scénarios « hypothétiques » pour évaluer l'impact des différentes approches possibles pour l'investissement dans les ressources en eau et notre capacité à répondre aux demandes agricoles mondiales en eau. De façon notable, le changement climatique n'est pas considéré dans cette simulation afin de rendre les résultats comparables. Comme expliqué plus haut, ceci rend les résultats moins pertinents pour les *prévisions*, mais plus utilisables pour les décideurs, car les résultats des différentes approches sont facilement comparables. En bref, les cinq scénarios et leurs résultats sont les suivants :

1. Le scénario « optimiste – basé sur les cultures pluviales » suppose que les coûts économiques et environnementaux de l'irrigation à grande échelle ne conduiront pas à l'augmentation d'ici 2050 de la production de cultures irriguées – ce scénario se focalise sur l'amélioration de la gestion de l'eau par les pauvres et les petits exploitants en milieu rural. Ce scénario est optimiste parce qu'il suppose que 80% des écarts de rendements seront comblés. Le résultat est qu'il y aurait suffisamment d'eau pour satisfaire la demande agricole mondiale.
2. Le scénario « pessimiste – basé sur les cultures pluviales » où seulement 20% des écarts de rendements pluviaux sont comblés, ce qui nécessitera une augmentation de 53% des terres cultivées irriguées par les pluies pour répondre aux besoins alimentaires. Cela aura des coûts environnementaux élevés, et de nombreux pays devront augmenter leurs importations de produits alimentaires de manière significative. L'insécurité alimentaire augmentera, à un niveau plus élevé que dans n'importe lequel des scénarios envisagés.
3. Le scénario d'« expansion de l'irrigation » suppose des investissements importants dans l'irrigation, en particulier en Afrique Sub-Saharienne et en Asie, afin de réduire la dépendance alimentaire. Le coût en sera élevé – 400 milliards de dollars – et l'augmentation de 33% des zones irriguées assurera moins d'un quart de la hausse

attendue de la demande alimentaire. La sécurité alimentaire s'améliorera beaucoup, mais cette approche se soldera par une pression supplémentaire sur les ressources en eau douce, faisant plus que doubler le nombre de personnes souffrant de pénuries d'eau d'ici à 2050, ce nombre atteignant 2,6 milliards de personnes.

4. Le scénario d'« amélioration des rendements de l'irrigation » : dans cette simulation, la priorité est d'améliorer l'efficacité dans l'utilisation des terres et de l'eau. 75% à 80% des écarts de rendements y seront comblés, et l'augmentation des terres cultivées irriguées dans le monde sera de 9%, ce qui assurera la moitié de la demande supplémentaire pour les aliments en 2050. Ce scénario sera coûteux – 300 milliards de dollars – et il entraînera un détournement de 32% des ressources d'eau douce vers l'agriculture.
5. Le scénario «solution commerce» : dans ce dernier scénario, la demande croissante de nourriture sera prise en charge par le commerce extérieur, la production étant assurées par les producteurs de céréales dans les pays relativement riches en eau – tels que les Etats-Unis, le Canada, l'Argentine, etc. – exportant de plus grands volumes vers les pays déficitaires en eau. Cela réduira les contraintes en eau, mais de nombreux obstacles potentiels rendent ce scénario moins probable, parmi eux le coût excessif des denrées importées pour les pays importateurs les moins développés, la forte consommation d'énergie dans le commerce international, et la méfiance des gouvernements vis-à-vis de la dépendance excessive des importations.

Les auteurs terminent avec un scénario normatif conçu pour mettre en lumière l'investissement optimal en ressources en eau. Ce scénario est extrêmement utile, car les limites de chacune des cinq simulations sont claires. Les auteurs modélisent une approche portefeuille qui reconnaît que les différentes stratégies auront un sens en fonction des régions. Par exemple, en Afrique Sub-Saharienne une double approche est suivie, avec une expansion importante de l'irrigation pour les cultures de rente, tandis que les gains d'efficacité sont poursuivis pour les petits exploitants sur les terres pluviales. Dans l'ensemble, la simulation a donné des augmentations de rendements de 58% pour les céréales sur les terres pluviales sur la base d'une amélioration de 31% de la productivité des ressources en eau, tandis que les rendements de l'agriculture irriguée augmentent de 55% sur la base d'une augmentation de 38% de l'efficacité des méthodes d'irrigation. Des réglementations rigoureuses limitent les impacts environnementaux, l'intensification limite les exigences supplémentaires pour les terres agricoles, et il n'y a qu'une augmentation de 13% de prélèvements d'eau douce pour la production agricole en 2050.

Encore une fois, la valeur d'un tel ensemble détaillé de simulations contrôlées, est qu'il permet aux décideurs d'évaluer les impacts probables de différentes approches face à un enjeu plus étroitement défini. Une des limites de cette étude est qu'aucun des scénarios ne présente une approche «de maintien du statu quo» qui pourrait être comparé à différentes alternatives. Une autre limite est que les impacts du changement climatique pourraient bien changer les priorités et les résultats de l'investissement en eau.

La modélisation de questions plus importantes

Le nombre de questions auxquelles les décideurs sont confrontés lorsqu'ils envisagent l'avenir à long terme est beaucoup plus large que les variables spécifiques que sont la productivité agricole, l'expansion des biocarburants et le changement climatique. Les principales préoccupations sont la mesure dans laquelle les pays en développement adoptent les régimes occidentaux riches en protéines animales, la durabilité de la dépendance continue de grandes quantités d'intrants à base de combustibles fossiles dans les grandes exploitations monoculturelles, l'impact positif de la réduction des inégalités dans l'accès à la nourriture, et l'impact de la forte volatilité des prix sur la production et la distribution des produits agricoles. Ces questions ne se prêtent pas facilement à la modélisation quantitative à l'échelle globale, précisément parce que le nombre de variables est si élevé. Toutefois, les projections quantitatives restent importantes même avec ces grandes incertitudes, et les modélisateurs ont cherché à quantifier ces voies alternatives.

Reilly et Willenbockel ont qualifié ces «scénarios exploratoires» visant à donner des «lignes directrices» (voir Reilly et Willenbockel 2010 pour un résumé plus complet, pp. 3055-3057). Encore une fois, ces exercices ont pour objectif de tracer les grandes voies à suivre par la société, de quantifier certaines des implications, et de souligner les principaux facteurs du changement. L'Évaluation des Ecosystèmes pour le Millénaire (ME) est un bon exemple (Carpenter, Pingali et al. 2005). Les quatre scénarios et leurs principaux résultats peuvent être résumés brièvement comme suit:

1. L'«Orchestration Globale»- caractérisée par la libéralisation du commerce mondial et la coopération lorsque que l'agriculture entre dans la production industrielle à grande échelle, avec une gestion limitée de l'environnement. Le résultat est une disponibilité mondiale élevée de calories par habitant avec une diminution de 40% de la faim chez les enfants. Mais les dommages environnementaux sont importants, avec une perte prévue de 50% des terres forestières de l'Afrique Subsaharienne.
2. La «TechnoGarden» - avec un développement technologique élevé, des barrières au commerce et à l'investissement faibles, et l'internalisation de nombreuses externalités environnementales dans les pays du Nord. L'investissement privé transforme l'agriculture des pays en développement par l'intensification, en augmentant considérablement la production en Afrique Sub-Saharienne. La production alimentaire et les niveaux de faim et de malnutrition sont similaires au scénario #1
3. La «Mosaïque d'Adaptation» présente une plus grande diversité locale et régionale, alors que les négociations de l'OMC et les discours sur le climat climatiques peinent à avancer. Les résultats varient considérablement d'une région à l'autre, et la production alimentaire à l'échelle mondiale est beaucoup plus faible que dans les deux scénarios précédents.
4. L'«Ordre par la Force» – caractérise des barrières commerciales élevées, une coopération mondiale limitée, peu d'attention à la gestion des écosystèmes. Un faible

investissement agricole génère une large expansion des terres cultivées, et le changement climatique contribue à la faim et à la migration de masse en Afrique. La production alimentaire croît très lentement jusqu'à l'horizon 2050, tandis que la malnutrition infantile augmente.

Les chercheurs utilisent les résultats pour mettre en évidence les dangers d'une gestion «réactive» par rapport à une gestion «proactive» de l'environnement et des approches globales dispersées par rapport à celles coordonnées concernant le commerce et la coopération économique. Fait intéressant, aucun des scénarios ne présente une crise de la production alimentaire mondiale, car la production par habitant augmente dans les quatre cas. Willenbockel (2009), dans une revue de la ME et de l'évaluation des scénarios climatiques de l'Agence Internationale de l'Energie, relève l'importance des résultats du ME, à savoir que: les sociétés exercent une forte pression sur les écosystèmes; les personnes les plus à risque sont les pauvres en zones rurales; certains des pays les plus pauvres font face aux défis environnementaux les plus difficiles; et les dirigeants mondiaux doivent prendre en compte la durabilité de l'environnement à travers la coopération mondiale.

De même, les chercheurs français ont utilisé le modèle Agribiom du projet Agrimonde pour comparer le scénario du maintien du statu quo (une agriculture industrielle à forte croissance dérivée du scénario d'Orchestration Globale du ME) à un scénario fondé sur l'équité et l'intensification agro-écologique de la production agricole. Une telle modélisation, dans ce cas, fondée non pas sur des facteurs économiques, mais sur la biomasse, contraste les trajectoires actuelles avec un sentier alternatif optimal pour explorer les conséquences de chacune d'elles. Dans les deux cas, on suppose que la planète produit suffisamment de nourriture, les questions sont de savoir comment et à quel coût? Pour Agrimonde, une partie de la réponse est l'équité complète dans laquelle des régimes de 3000 kilocalories sont censés être disponibles pour tous et dans tous les pays. Ils trouvent que nous pouvons répondre aux besoins alimentaires futurs, même si la croissance des rendements est plus lente en raison de l'abandon de l'agriculture industrielle pour de petites exploitations utilisant des pratiques agro-écologiques. L'exercice clarifie également les effets peut-être indésirables d'une telle trajectoire. Pour atteindre cet avenir hypothétique, il faudrait qu'il y ait une augmentation de 39% des terres cultivées pour compenser la faible croissance des rendements, bien que les chercheurs soulignent que cette augmentation puisse venir en grande partie des pâturages puisque que l'alimentation, dans ce scénario, reposera de moins en moins sur les régimes à base de viande. Il faudrait aussi une augmentation étonnante de 740% dans le commerce alimentaire mondial, pour que les régions excédentaires pourvoient aux demandes des régions déficitaires (Paillard, Treyer et al. 2011). Il n'est pas envisagé par quels moyens les régions déficitaires en nourriture pourront se permettre une telle augmentation spectaculaire de leurs importations.

Erb, Haberle et al (2009) présentent l'un des plus grands efforts pour modéliser les scénarios alternatifs. Comme Agribiom, le modèle n'est pas économique, mais fondé plutôt sur l'offre et la demande de biomasse disponibles à partir des cultures et des pâturages. Ils utilisent les estimations de la FAO pour leurs références de base sur la

population, la croissance économique, la croissance de la productivité agricole, et l'utilisation des terres. Les scénarios relatifs au changement climatique et à l'augmentation de la production de biocarburants ont été modélisés, tout comme les impacts de quatre régimes alimentaires différents, allant de régimes « à haute teneur en viande en occident » à ceux relativement faibles en viande. Les modèles de production animale varient d'un niveau intensif à un niveau plus humain voire biologique. L'utilisation des terres pour les cultures varie, depuis la base de référence de la FAO (qui est une augmentation de 9%) jusqu'à une augmentation plus importante de 19%. Le résultat est un éventail impressionnant mais quelque peu vertigineux de 72 scénarios différents.

Les auteurs ont synthétisé les résultats pour évaluer un avenir d'une agriculture «totale biologique» et un scénario intermédiaire. Ils concluent que la trajectoire actuelle (consommation élevée de viande, production industrielle) est viable mais seulement avec une conversion élevée de nouvelles terres agricoles et de pâturages (20% au lieu de la référence de base de la FAO de 9%) ainsi que l'intensification de la production. Le scénario biologique de consommation faible en viande, est également possible, avec des besoins similaires en terres (pour la production de céréales pour la consommation humaine au lieu de l'expansion des pâturages pour la production de viande). Les impacts du changement climatique dépendront en grande partie de l'inconnue que représente la fertilisation du CO₂.

D'autres efforts intéressants à cet égard comprennent une revue de littérature détaillée sur les éléments de preuve de l'atténuation du changement climatique grâce à l'agriculture biologique (Aziz, 2009). IFPRI a modélisé un scénario de réduction de 50% de la demande de viande d'ici à 2050, dans les pays développés, suivis ensuite de la Chine et du Brésil. Sans surprise, les résultats montrent une réduction significative des prix des produits agricoles et des indicateurs d'insécurité alimentaire, avec les changements en Chine et au Brésil ayant un plus grand impact (Rosegrant, Tokgoz et al. 2013, p. 98). Comme l'explique Van Dijk (2012), à travers le GIEC, un processus est en cours pour élaborer un ensemble cohérent de scénarios – Les Trajectoires Socio-économiques Partagées (TSP) - qui peut être utilisé de manière cohérente par les chercheurs pour produire des évaluations comparables.

Conclusions

Nous avons fourni un aperçu général de la façon dont les chercheurs ont tenté de quantifier notre capacité à nourrir la planète en 2050. Même si cela ne représente en aucun cas un examen exhaustif de la littérature pertinente, cette synthèse permet une compréhension de la genèse des estimations largement citées concernant les besoins alimentaires mondiaux en 2050. Elle devrait également fournir l'assurance que beaucoup de ces chiffres n'ont pas été inventés de toutes pièces mais sont plutôt basés sur des données relativement fiables et une modélisation minutieuse qui tente d'intégrer les tendances et les relations biophysiques et économiques. Notre examen indique, cependant, que les niveaux d'incertitudes dans ces deux domaines et la sensibilité des

résultats à long terme à de faibles variations dans les hypothèses de base rendent ces résultats hautement hypothétiques.

Pour revenir à Reilly et Willenbockel, leurs résultats ne doivent pas être considérés comme des prévisions. Malheureusement, c'est souvent la façon dont ils sont présentés, généralement malgré les mises en garde des modélisateurs. Dans l'ensemble, nous sommes d'accord avec Reilly et Willenbockel pour penser que l'avenir ne sera probablement pas Malthusien. Ainsi il n'y a pas lieu de rechercher un type de productivisme alarmiste souvent causé par ces projections. Ces craintes alimentent un courant d'acquisitions de terres à grande échelle par des grandes multinationales, au nom de la menace de pénuries alimentaires, ainsi que l'expansion de l'agriculture industrielle intensive en intrants, en dépit des contraintes de ressources qui ont incité IAASTD à remettre en cause cette voie de développement.

En fait, les projections 2012 de la FAO relatives à 60% d'augmentation de l'offre et de la demande agricoles semblent être un bon point de départ pour la discussion. Elles peuvent apaiser certaines des pires craintes qu'on puisse avoir sur la croissance de la population et l'évolution des régimes alimentaires pouvant entraver notre capacité à produire suffisamment de nourriture, mais l'on doit toutefois reconnaître en même temps les incertitudes dans ces projections et les facteurs connus – en particulier l'expansion des biocarburants et le changement climatique – qui n'ont pas encore été suffisamment pris en compte.

Reilly et Willenbockel sont particulièrement préoccupés par la façon dont les chercheurs traitent ces incertitudes, qui sont inhérentes au système alimentaire en tant que système socio-écologique complexe, en particulier lorsqu'il s'agit de tenter des modélisations de long terme à l'horizon 2050. Ils distinguent de façon pertinente trois types d'incertitudes: techniques, méthodologiques et épistémologiques. Les incertitudes techniques se rapportent à la qualité des données disponibles. Les incertitudes méthodologiques résultent d'un manque de connaissance suffisante pour construire un modèle adéquat avec une structure et des formes fonctionnelles appropriées pour les équations de comportement. Les incertitudes épistémologiques se réfèrent à l'exhaustivité des modèles ou à leur capacité à faire face aux changements de comportements ou de valeurs sociales et culturelles, ainsi qu'au caractère aléatoire de la nature, aux surprises technologiques et/ou à des événements relevant de la catégorie rarissime des "cygnes noirs"⁹. (p 3050)

Dans un article de synthèse sur le projet AgMIP, von Lampe, Willenbockel et al. (2013) offrent des suggestions plus spécifiques liées à l'amélioration de la qualité de la modélisation elle-même, ainsi que de l'utilité de celle-ci. A partir de la comparaison des modèles, ils synthétisent quatre types de différences constatées dans la modélisation:

⁹ La théorie du « cygne noir » par le philosophe Nassim Nicholas Taleb, est une théorie dans laquelle on appelle cygne noir un certain événement imprévisible qui a une faible probabilité de se dérouler (appelé « événement rare » en théorie des probabilités), et qui, s'il se réalise, a des conséquences d'une portée considérable et exceptionnelle.

1. Les paramètres et hypothèses que la littérature suggère devraient se situer dans une fourchette plus étroite, par exemple, les hypothèses de forte croissance de la productivité agricole regroupés dans certains modèles, mentionnés précédemment.
2. De meilleures données économiques sont nécessaires pour informer les modèles, par exemple, en rapport avec des hypothèses exerçant une influence sensible telles que les élasticités de la demande, ou l'utilisation des terres, comme l'a souligné auparavant Hertel.
3. Des données de meilleure qualité en provenance d'autres disciplines sont nécessaires, en particulier sur les processus biophysiques au sujet desquels une grande incertitude persiste.
4. Enfin, il existe des incertitudes qui selon les auteurs «ne seront pas résolues par la recherche dans un avenir prévisible», y compris les paramètres de base comme la croissance du PIB.

Ils concluent par un appel à utiliser un nombre varié d'hypothèses et à présenter un éventail de résultats correspondants, issus de la modélisation, qui puissent être utiles aux décideurs politiques. «Explorer les résultats à partir d'une série de facteurs plausibles est essentiel, en particulier parce que ces facteurs dépendent des décisions prises par les politiques publiques et les investissements privés.»

Parmi les facteurs les plus utiles à modéliser sont ceux qui sont les plus susceptibles de faire l'objet d'intervention politique. Au-delà de la valeur prédictive de la modélisation économique, ces recherches devraient aider à éclairer les conséquences de certaines politiques et de changements de comportements. La modélisation des scénarios sur les biocarburants, par exemple, n'a pas reçu l'attention qu'elle mérite compte tenu de l'importance de la question pour la production alimentaire et l'utilisation des ressources, et étant donné le rôle important des politiques publiques dans la promotion (ou au contraire le découragement) d'une telle utilisation des biocarburants.

Peut-être est-il encore plus frappant de constater l'absence dans la plupart des modélisations de l'impact des réductions des pertes et des gaspillages alimentaires, qui concernent un tiers environ des aliments produits (FAO 2011). La plupart des outils politiques en la matière sont pertinents, tels que l'amélioration du stockage et des infrastructures dans les pays en développement, les normes et l'éducation du public afin de réduire les pertes en produits de détail et en consommation dans les pays développés. La FAO milite activement en faveur de cette question. Assurément, ceux qui mettent en garde contre des pénuries alimentaires en 2050 pourrait pour le moins modéliser un scénario clair estimant l'impact, par exemple, d'une réduction de dix points de la perte ou gaspillage d'aliments à l'horizon 2050. Dans un tel scénario, l'estimation de référence de la FAO concernant les besoins agricoles en 2050 pourrait chuter encore de 60% à 50%. Kummu, de Moel et al (2012) estiment, par exemple, que la réduction des pertes et des gaspillages à des niveaux qui sont actuellement réalisables pourrait réduire les pertes de moitié et fournir suffisamment de nourriture supplémentaire pour un milliard de personnes.

Cet examen suggère les conclusions suivantes concernant les lignes directrices que

pourrait prendre la modélisation à venir qui afin d'aider à la prise de décision dans des domaines fondamentaux, à laquelle font face les décideurs politiques:

- **Les estimations mondiales sont utiles, mais les chiffres nationaux et régionaux sont beaucoup plus instructifs.** Comme indiqué plus haut, il n'y a pas de «nous» collectif engagé dans l'action de nourrir «la planète». L'adéquation globale des approvisionnements alimentaires projetée peut cacher une pléthore d'insuffisances aux niveaux régionaux, nationaux et locaux. Ce sera d'autant plus vrai quand le changement climatique impactera les systèmes agricoles, avec un grand nombre de régions les plus pauvres qui devraient être les plus durement touchées. Alors que le commerce sera essentiel pour remédier aux déficits, ce serait une erreur de ne pas évaluer les capacités régionales de production alimentaire et de ne pas se concentrer sur la manière de combler les écarts de rendements, comme de nombreux chercheurs l'ont suggéré.
- **Les investissements publics et privés pour améliorer la productivité agricole dans les pays en développement sont une priorité absolue.** Nous avons vu à quel point les approvisionnements alimentaires futurs sont sensibles aux augmentations et diminutions de la productivité agricole. Bien qu'il soit utile que les modélisateurs puissent améliorer la qualité et la cohérence des données qu'ils utilisent dans leurs projections, nous n'avons pas besoin d'attendre ces projections pour investir dans l'agriculture des pays en développement.
- **Les priorités qui doivent guider ces investissements sont moins une question de modélisation qu'une question de politique publique.** Comme le projet CAWMA sur les investissements en eau l'a suggéré, une approche portefeuille adaptée aux besoins spécifiques d'une région donnée sera optimale pour maximiser la productivité selon les contraintes de ressources données. Il en sera de même pour les autres investissements liés à l'agriculture. Comme le suggère le scénario pessimiste de «croissance tendancielle» de Hillebrand, ne pas augmenter la productivité et la sécurité alimentaire dans les régions qui ont été laissées pour compte aura des conséquences désastreuses pour les pauvres au niveau mondial. Une partie de la modélisation normative - Agrimonde, Millennium Ecosystem Assessment, etc. – fournit un avertissement clair à propos des trajectoires qui ne sont pas proactives concernant la gestion des écosystèmes ou la coopération en matière de politique économique et environnementale.
- **La modélisation n'est susceptible d'offrir que des indications limitées sur la nécessité d'une transition vers des méthodes plus durables.** Nous avons vu comment les projections alarmistes peuvent conduire à provoquer des réflexes de comportement d'investissement focalisés dans l'agriculture industrielle à grande échelle. Pourtant, le manque de ressources à long terme s'étend à la plupart des intrants à base de combustibles fossiles dont ces systèmes dépendent. La modélisation normative suggère que les coûts environnementaux d'une telle approche sont élevés, mais les méthodes agro-écologiques à faible rendement exigeraient d'utiliser de façon non durable de vastes étendues de nouvelles terres

agricoles pour répondre aux besoins alimentaires mondiaux. La modélisation de long terme à l'échelle mondiale fournira moins d'orientation en la matière que la mise en œuvre à de plus larges échelles, de stratégies éprouvées validant des pratiques d'agriculture biologique intensives et écologiquement durables.

- **Les incertitudes liées au changement climatique sont un défi particulier pour les modélisateurs.** L'effort AgMIP est une tentative louable et importante pour améliorer la modélisation et augmenter la valeur de cette modélisation pour évaluer le changement climatique. Bien entendu, des incertitudes demeureront inévitablement, et il incombe aux chercheurs de présenter leurs résultats de manière claire et transparente en ce qui concerne ces niveaux d'incertitudes. Les paramètres de modélisation de base, cependant, doivent être établis de telle sorte que les études les plus citées sur la possibilité de nourrir la planète en 2050, comme celle de la FAO, prennent en considération le changement climatique.
- **2050 est un horizon temporel trop proche pour évaluer la durabilité à long terme.** Comme indiqué précédemment, le changement climatique et les contraintes de ressources associées auront des impacts grandissants au cours de ce siècle. La plupart des modèles prévoient beaucoup plus de perturbations de la production agricole après 2050 qu'auparavant. La modélisation à long terme doit tenir compte de cela. Il est important, étant donné les difficultés de la modélisation pour un horizon si lointain, que les décideurs de politiques reconnaissent que les estimations de 2050 pourraient bien être trop optimistes.
- **La modélisation économique de long terme minimise généralement les effets de la volatilité, car l'offre et la demande sont déterminées à l'intérieur des modèles.** Pourtant, nous anticipons à l'avenir de plus grande volatilité climatique, affectant les systèmes agricoles, et donc une plus grande volatilité des marchés agricoles, causée par des réserves limitées et une spéculation financière grandissante. Il est nécessaire de porter une plus grande attention à cette question de la volatilité et de l'intégrer dans la modélisation économique de long terme à l'échelle mondiale (voir Munier 2012, par exemple).
- **Les incertitudes sur l'expansion des biocarburants devraient être moins difficiles à traiter et ce domaine mérite une attention plus soutenue.** Comme nous l'avons vu, l'expansion des biocarburants de première génération est en concurrence directe et indirecte avec les cultures et les ressources, exerçant une pression à la hausse sur les prix des aliments. Les biocarburants de deuxième génération devraient exercer moins de pression, mais des incertitudes subsistent. Pendant ce temps, la plupart des modèles économiques à ce jour n'ont pas réussi à prendre en compte les voies probables et possibles pour l'expansion des biocarburants de première génération. Dans la mesure où ces marchés sont entraînés par les impératifs de consommation et d'autres politiques publiques, il incombe aux modélisateurs de prendre en compte les coûts de ces politiques dans leurs projections de long terme. A ce jour, ils ne l'ont pas fait. L'excellent scénario de Fischer avec le modèle IIASA est maintenant dépassé, et les efforts

ultérieurs reposent encore sur des hypothèses non fondées sur les trajectoires possibles des biocarburants. L'attention portée par AgMIP à l'impact des biocarburants de deuxième génération après 2030 est utile, mais elle pose la question la plus importante à laquelle les décideurs doivent faire face: Peut-on nourrir la planète si nous faisons fonctionner simultanément nos véhicules à partir des mêmes cultures et des mêmes terres?

- **D'autres contributeurs directs des déséquilibres entre l'offre et la demande méritent une attention de premier plan.** Régler cette question ne doit pas nécessairement venir des modélisateurs économiques. Les réductions de gaspillages alimentaires – de la ferme au marché ainsi qu'aux niveaux du détail et de la consommation – peuvent avoir un impact direct sur l'offre de nourriture accessible. On estime qu'un tiers de la nourriture est perdue ou gaspillée (FAO 2011). De toute évidence, la réduction de ces pertes pourrait rendre disponible beaucoup de nourriture pour la consommation tout en réduisant l'utilisation des ressources environnementales. Il est frappant de constater que les principaux modèles économiques examinés ici ne modélisent pas de tels scénarios même en considérant des réductions modérées des gaspillages alimentaires, qui dans les pays en développement viendrait principalement des améliorations dans le stockage et autres infrastructures, afin de réduire les pertes post-récoltes et celles liées à la transformation. Ce serait, en soi, un objectif de développement louable.

Les perspectives pour la recherche future

- **Les scénarios relatifs aux biocarburants, y compris l'analyse des politiques publiques faisant leur promotion:** La recherche a besoin de rattraper son retard en traitant de ce développement très récent, avec une modélisation minutieuse à la fois des scénarios d'expansion des biocarburants et, dans la mesure du possible, l'analyse des impacts des mandats (pourcentage de biocarburants requis dans l'essence) ainsi que d'autres politiques publiques. Cette recherche est importante parce que, d'une part, ces politiques contribuent à encourager des pratiques qui portent atteinte à la sécurité alimentaire, alors que d'autre part, les marchés de l'énergie pourraient bien être plus décisifs dans la détermination des trajectoires d'expansion pour les biocarburants. Dans ce dernier cas, la société pourrait devoir envisager un ensemble différent de politiques pour régler l'impact des prix de l'énergie sur la sécurité alimentaire.
- **La meilleure intégration des scénarios énergétiques dans la modélisation agricole:** La perspective à long terme de la transition énergétique a des répercussions au-delà de l'expansion des biocarburants. Elle est directement liée à la viabilité économique de l'agriculture, qui utilise une forte quantité d'intrants à base de combustibles fossiles. Si ceux-ci augmentent en coûts (et déclinent en disponibilité), les pays en développement devraient se méfier des trajectoires de développement fondées sur l'agriculture qui augmentent leur dépendance aux intrants importés. En d'autres termes, l'affirmation de IAASTD est-elle justifiée – affirmant que le maintien du statu quo n'est pas une option – et si oui, quelle est

l'alternative?

- **Le changement climatique et ses impacts sur l'agriculture:** Outre l'initiative importante d'AgMIP et les efforts continuels de la communauté scientifique cherchant à améliorer notre compréhension de l'impact du réchauffement climatique, des recherches supplémentaires sont nécessaires sur les impacts régionaux et spécifiques aux cultures, en particulier dans les pays en développement. L'adaptation se fait au plan local, et elle doit être guidée par une analyse agricole et économique solide. Cette recherche se focalisera moins sur l'approvisionnement alimentaire mondial et plus sur les stratégies locales pour une agriculture résistante aux problèmes climatiques.
- **Rassembler les parties concernées autour de la table pour un dialogue direct:** La recherche devrait inclure une stratégie de communication visant à réunir les chercheurs et les agriculteurs qui sont en première ligne pour ces enjeux, autour d'une même table, ainsi que les gouvernements des pays en développement, lesquels joueront un rôle clé dans la mise en œuvre des mesures à décider collectivement.

Timothy A. Wise est le Directeur du Programme de Recherche et de Politique publique au Global Development and Environment Institute à l'Université de Tufts. Les demandes de renseignements peuvent être adressées à l'adresse suivante: tim.wise@tufts.edu.

Bibliographie

- Ackerman, Frank and Elizabeth A. Stanton (2013). Climate Impacts on Agriculture: A Challenge to Complacency? Working Paper. Medford, MA, Global Development and Environment Institute (GDAE).
- Alexandratos, Nikos (2011). Critical evaluation of selected projections. Looking Ahead in World Food and Agriculture: Perspectives to 2050. P. Conforti. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization: 465-508.
- Alexandratos, Nikos and Jelle Bruinsma (2012). World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. ESA Working paper. Rome, Food and Agriculture Organization.
- Ausubel, Jesse H., Iddo K. Wernick and Paul E. Waggoner (2012). "Peak Farmland and the Prospect for Land Sparing." Population and Development Review **38**(Supplement): 217-238.
- Azeez, G. (2009). Soil Carbon and Organic Farming. Bristol, The Soil Association.
- Barrett, C. (2010). "Measuring Food Insecurity." Science **327**(5967): 825-828.
- Carpenter, S. R., P. L. Pingali, E. M. Bennett and M. B. Zurek (2005). Ecosystems and human well-being: findings of the Scénarios Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment. Millennium Ecosystem Assessment Series. Washington, DC, Island Press.
- Conforti, Piero (2011). Looking Ahead in World Food and Agriculture: Perspectives to 2050. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization.
- Conway, Gordon (2012). One Billion Hungry: Can We Feed the World? New York, Cornell University Press.
- Cumming, G., J. Alcamo, O. Sala, R. Swart, E. M. Bennett and M. B. Zurek (2005). "Are existing global scénarios consistent with ecological feedbacks? ." Ecosystems **8**: 143 –152.
- de Fraiture, Charlotte, Dennis Wichelns, Johan Rockström, Eric Kemp-Benedict, Nishadi Eriyagama, Line J. Gordon, Munir A. Hanjra, Jippe Hoogeveen, Annette Huber-Lee and Louise Karlberg (2007). Looking ahead to 2050: scénarios of alternative investment approaches. Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture. D. Molden. London, UK, Earthscan: 91–145.
- DEFRA (2010). UK Food Security Assessment: Detailed Analysis. London, Department for Environmental, Food and Rural Affairs (DEFRA).
- DESA (2011). World Economic and Social Survey 2011. New York, NY, Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat.
- Erb, Karl-Heinz, Helmut Haberl, Fridolin Krausmann, Christian Lauk, Christoph Plutzer, Julia K. Steinberger, Christoph Müller, Alberte Bondeau, Katharina Waha and Gudrun Pollack (2009). Eating the Planet: Feeding and fuelling the world sustainably, fairly and humanely – a scoping study. Social Ecology Working Paper. Vienna, Institute of Social Ecology, Faculty for Interdisciplinary Studies, Klagenfurt University
- FAO (2009). How to Feed the World in 2050. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization.

- FAO (2011). *Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes, and Prevention*. Rome, UN Food and Agriculture Organization.
- Fischer, G. (2011). How can climate change and the development of bioenergy alter the long-term outlook for food and agriculture? *Looking Ahead in World Food and Agriculture: Perspectives to 2050*. P. Conforti. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization: 95-158.
- Fischer, Tony, Derek Byerlee and Greg Edmeades (2012a). Crop yields and food security: will yield increases continue to feed the world? *Australian Society of Agronomy*. Armidale, Australia, Australian Society of Agronomy.
- Fischer, Tony, Derek Byerlee and Greg Edmeades (2012b). *Crop yields and food security: will yield increases continue to feed the world?* 16th Australian Agronomy Conference, Armidale, Australia, Australian Society of Agronomy.
- Fuss, Sabine, Petr Havlík, Jana Szolgayová, Erwin Schmid and Michael Obersteiner (2011). Large-Scale Modelling of Global Food Security and Adaptation under Yield Uncertainty. *EAAE 2011 Congress*. Zurich, European Association of Agricultural Economists (EAAE).
- Hertel, Thomas W. (2011). "The Global Supply and Demand for Agricultural Land in 2050: A Perfect Storm in the Making?" *American Journal of Agricultural Economics* **93**(2): 259-275.
- Hertel, Thomas W. , Marshall B. Burke and David B. Lobell (2010). "The poverty implications of climate-induced crop yield changes by 2030." *Global Environmental Change* **20**: 577–585.
- Hillebrand, Evan (2011). Poverty, growth and inequality over the next 50 years. *Looking Ahead in World Food and Agriculture: Perspectives to 2050*. P. Conforti. Rome, Food and Agriculture Organization: 159-190.
- IAASTD (2009). *International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development: Global Report*. Washington, DC, Island Press.
- IEA (2012). *World Energy Outlook Paris*, International Energy Agency (IEA).
- Kummu, M., H. de Moel, M. Porkka, S. Siebert, O. Varis and P.J. Ward (2012). "Lost food, wasted resources: Global food supply chain losses and their impacts on freshwater, cropland, and fertiliser use." *Science of The Total Environment* **438**: 477-489.
- Licker, R., M. Johnston, C. Barford, J.A. Foley, C.J. Kucharik, C. Monfreda and N. Ramankutty (2010). "Mind the Gap: How do climate and agricultural management explain the “yield gap” of croplands around the world?" *Global Ecology and Biogeography* **19**(6): 769-782.
- Lobell, D.B., K.G. Cassman and C.B. Field (2009). "Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes." *Annual Review of Environment and Resources* **34**(1): 179–204.
- Lotze-Campen, Hermann, Martin von Lampe, Page Kyle, Shinichiro Fujimori, Petr Havlik, Hans van Meijl, Tomoko Hasegawa, A. Popp, Christoph Schmitz, Andrzej Tabeau, Hugo Valin, Dirk Willenbockel and M. Wise (2013). "Impacts of increased bioenergy demand on global food markets: an AgMIP economic model intercomparison." *Agricultural Economics* **forthcoming**.
- Malthus, Thomas R. (1798). *An essay on the principle of population*. London, J. Johnson.

- Monfreda, C., N. Ramankutty and J.A. Foley (2008). "Farming the planet: 2. Geographic distribution of crop areas, yields, physiological types, and net primary production in the year 2000." Global Biogeochemical Cycles **22**(1): 1-19.
- Monsanto. (2013). "Why Does Agriculture Need to Be Improved / Growth of the World Population." Retrieved 2/5, 2013, from <http://www.monsanto.com/improvingagriculture/Pages/growing-populations-growing-challenges.aspx>.
- Munier, Bertrand R., Ed. (2012). Global Uncertainty and the Volatility of Agricultural Commodities Prices. Amsterdam, IOS Press.
- Nelson, Gerald C., Mark W. Rosegrant, Amanda Palazzo, Ian Gray, Christina Ingersoll, Richard Robertson, Simla Tokgoz, Tingju Zhu, Timothy B. Sulser, Claudia Ringler, Siwa Msangi and Liangzhi You (2010). Food Security, Farming, and Climate Change to 2050: Scénarios, Results, Policy Options. Washington, DC, International Food Policy Research Institute.
- Nelson, Gerald D., Dominique van der Mensbrugghe, Tomoko Hasegawa, Kiyoshi Takahashi, Ronald D. Sands, Page Kyle and Katherine Calvin (2013). "Agriculture and Climate Change in Global Scénarios: Why Don't the Models Agree? ." Agricultural Economics **forthcoming**.
- Nwanze, Kanayo F., José Graziano da Silva, Ertharin Cousin and Emile Frison. (2012, 6/20/12). "Opinion: Food Security ut Be On The Table At Rio+20." Retrieved 2/20/13, from <http://www.wfp.org/news/news-release/food-security-must-be-table-rio20>.
- OECD-FAO (2011). OECD-FAO Agricultural Outlook 2011-2020. Paris, OECD-FAO.
- Paillard, Sandrine, Bruno Dorin, Tristan Le Cotty, Tevecia Ronzon and Sebastien Treyer (2011). Food Security by 2050: Insights from the Agrimonde Project. European Foresight Series EFP Brief, CIRAD, INRA.
- Paillard, Sandrine, Sebastien Treyer and Bruno Dorin, Eds. (2011). Agrimonde: Scénarios and Challenges for Feeding the World in 2050. Versailles Cedex, Editions Quae.
- Parry, M.L., C. Rosenzweig, A. Iglesias, M. Livermore and G. Fischere (2004). "Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scénarios." Global Environmental Change **14**: 53-67.
- Reilly, Michael and Dirk Willenbockel (2010). "Managing uncertainty: a review of food system scénario analysis and modelling." Philosophical Transactions of the Royal Society **365**: 3049-3063.
- Rijsberman, Frank. (2012, 9/19/2012). "CGIAR: a global research partnership for a food secure future." Retrieved 2/5/13, from <http://www.cgiar.org/consortium-news/cgiar-global-research-partnership-for-a-food-secure-future/>.
- Rosegrant, Mark W., Simla Tokgoz, Prapti Bhandary and Siwa Msangi (2013). Looking Ahead: Scénarios for the Future of Food. 2012 Global Food Policy Report. IFPRI. Washington, International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Searchinger, T., R. Heimlich, R.A. Houghton,, A. Elobeid F. Dong, J. Fabiosa, S. Tokgoz,, and Tun-Hsiang Yu. 2008. . Science 319 D. Hayes, no. and 5867 (February 29): 1238–1240. (2008). "Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change." Science **319**(5867): 1238-1240.

- Soil Association (2011). Telling porkies: The big fat lie about doubling food production, Soil Association.
- Thompson, John and Ian Scoones (2009). "Addressing the dynamics of agri-food systems: an emerging agenda for social science research." Environmental Science & Policy **12**(4): 386-397.
- Tilman, D., C. Balzer, J. Hill and B.L. Befort (2011). "Global food demand and the sustainable intensification of agriculture." Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America **108**(50): 20260–20264.
- Tomlinson, Isobel (2011). "Doubling food production to feed the 9 billion: A critical perspective on a key discourse of food security in the UK." Journal of Rural Studies.
- van der Mensbrugge, Dominique, Israel Osorio-Rodarte, Andrew Burns and John Baffes (2011). Macroeconomic Environment and Commodity Markets: A Longer-Term Outlook. Looking Ahead in World Food and Agriculture: Perspectives to 2050. P. Conforti. Rome, Food and Agriculture Organization: 191-229.
- van Dijk, Michiel (2012). A review of global scénario exercises for food security analysis: Assumptions and results. Food Secure Working paper. Hague, Food Secure.
- van Vuuren, Detlef P., Keywan Riahi, Richard Moss, Jae Edmonds, Allison Thomson, Nebojsa Nakicenovic, Tom Kram, Frans Berkhout, Rob Swart, Anthony Janetos, Steven K. Rose and Nigel W. Arnell (2012). "A proposal for a new scénario framework to support research and assessment in different climate research communities." Global Environmental Change **22**(1): 21-35.
- von Lampe, Martin, Dirk Willenbockel, Elodie Blanc, Yongxia Cai, Katherine Calvin, Shinichiro Fujimori, Tomoko Hasegawa, Petr Havlik, Page Kyle, Hermann Lotze-Campen, Daniel Mason d/Croz, Gerald D. Nelson, Ronald D. Sands, Christoph Schmitz, Andrzej Tabeau, Hugo Valin, Dominique van der Mensbrugge and Hans van Meijl (2013). "Why Do Global Long-term Scénarios for Agriculture Differ? An overview of the AgMIP Global Economic Model Intercomparison." Agricultural Economics **forthcoming**.
- Willenbockel, Dirk (2009). Global energy and environmental scénarios: Implications for development policy. DIE Research Project "Development Policy : Questions for the Future". Bonn, Deutsches Institut für Entwicklungspolitik.
- Willenbockel, Dirk (2011). Exploring Food Price Scénarios Towards 2030 with a Global Multi-Region Model. Oxfam Research Reports. Oxford, Oxfam International.
- Wirsenius, Stefan, Christian Azar and Göran Berndes (2010). "How much land is needed for global food production under scénarios of dietary changes and livestock productivity increases in 2030?" Agricultural Systems **193**(9): 621–638.
- World Food Program. (2009, 1/26/2009). "World must double food production by 2050: FAO chief." Retrieved 10/18, 2012, from <http://www.wfp.org/content/world-must-double-food-production-2050-fao-chief>.
- Wright, Julia (2010). Feeding Nine Billion in a Low Emissions Economy: Challenging, but Possible: A Review of the Literature for the Overseas Development Institute. Oxford, UK, Oxfam International, Overseas Development Institute.

The Global Development And Environment Institute

GDAE est un Institut de recherche à l'Université de Tufts, à Medford, Massachusetts, USA. La mission de GDAE est de promouvoir une meilleure connaissance et compréhension des processus par lesquels les sociétés peuvent atteindre leurs objectifs économiques de manière socialement et écologiquement durable. GDAE poursuit sa mission à travers son équipe de recherche, qui publie des documents de travail, et des analyses destinées aux décideurs politiques, ainsi que grâce à son équipe pédagogique qui développe de nouveaux curricula, et des manuels d'économie. GDAE présente ses travaux et publications dans de nombreuses conférences. La série de documents de travail "GDAE Working Papers" présente des recherches et travaux inédits de plusieurs chercheurs affiliés à GDAE.

Nous encourageons tous vos commentaires et vous en remercions par avance. Vous pouvez nous joindre soit par email soit en contactant directement les auteurs, ou en écrivant à GDAE:

Tufts University, 44 Teele Ave, Medford, MA 02155

Tel: 617-627-3530; Fax: 617-627-2409; Email: gdae@tufts.edu; Website: <http://ase.tufts.edu/gdae>.

Articles récents dans cette série de documents de travail:

- 13-04 [Can We Feed the World in 2050? A Scoping Paper to Assess the Evidence](#) (Timothy A. Wise, July 2013)
- 13-03 [Population, Resources, and Energy in the Global Economy: A Vindication of Herman Daly's Vision](#) (Jonathan M. Harris, February 2013)
- 13-02 [Green Keynesianism: Beyond Standard Growth Paradigms](#) (Jonathan M. Harris, February 2013)
- 13-01 [Climate Impacts on Agriculture: A Challenge to Complacency?](#) (Frank Ackerman and Elizabeth A. Stanton, January 2013)
- 12-07 [Poisoning the Well, or How Economic Theory Damages Moral Imagination](#) (Julie A. Nelson, October 2012)
- 12-06 [A Financial Crisis Manual: Causes, Consequences, and Lessons of the Financial Crisis](#) (Ben Beachy, December 2012)
- 12-05 [Are Women Really More Risk-Averse than Men?](#) (Julie A. Nelson, September 2012)
- 12-04 [Is Dismissing the Precautionary Principle the Manly Thing to Do? Gender and the Economics of Climate Change](#) (Julie A. Nelson, September 2012)
- 12-03 [Achieving Mexico's Maize Potential](#) (Antonio Turrent Fernández, Timothy A. Wise, and Elise Garvey, October 2012)
- 12-02 [The Cost to Developing Countries of U.S. Corn Ethanol Expansion](#) (Timothy A. Wise, October 2012)
- 12-01 [The Cost to Mexico of U.S. Corn Ethanol Expansion](#) (Timothy A. Wise, May 2012)
- 11-03 [Would Women Leaders Have Prevented the Global Financial Crisis? Implications for Teaching about Gender Behavior, and Economics](#) (Julie A. Nelson, September 2012)
- 11-02 [Ethics and the Economist: What Climate Change Demands of Us](#) (J. A. Nelson, May 2011)
- 11-01 [Investment Treaty Arbitration and Developing Countries: A Re-Appraisal](#) (Kevin P. Gallagher and Elen Shrestha, May 2011)
- 10-06 [Does Profit-Seeking Rule Out Love? Evidence \(or Not\) from Economics and Law](#) (Julie A. Nelson, September 2010)
- 10-05 [The Macroeconomics of Development without Throughput Growth](#) (Jonathan Harris, September 2010)
- 10-04 [Buyer Power in U.S. Hog Markets: A Critical Review of the Literature](#) (Timothy A. Wise and Sarah E. Trist, August 2010)
- 10-03 [The Relational Economy: A Buddhist and Feminist Analysis](#) (Julie A. Nelson, May 2010)
- 10-02 [Care Ethics and Markets: A View from Feminist Economics](#) (Julie A. Nelson, May 2010)
- 10-01 [Climate-Resilient Industrial Development Paths: Design Principles and Alternative Models](#) (Lyuba Zarsky, February 2010)

Pour la liste complète de nos documents de travail veuillez consulter notre site web:
http://www.ase.tufts.edu/gdae/publications/working_papers/index.html