

# Les modèles économiques de l'agriculture : Un nouveau banc d'essai



Juin 2016

# Table des matières

---

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>3</b>
<b>METHODOLOGIE</b> .....	<b>4</b>
LA CATEGORISATION DES MODELES .....	4
<i>Modèles d'équilibre général et modèles d'équilibre partiel</i> .....	5
<i>Les différents usages des modèles</i> .....	5
LES CRITERES D'EVALUATION .....	6
<b>DESCRIPTION DES MODELES ANALYSES</b> .....	<b>8</b>
MODELES D'EQUILIBRE GENERAL .....	9
<i>Modèles utilisés politiquement</i> .....	9
<i>Modèles académiques</i> .....	13
MODELES D'EQUILIBRE PARTIEL .....	15
<b>ANALYSE PAR CRITERE</b> .....	<b>21</b>
CRITERE 1 : DEPENDANCE ET IRREVERSIBILITES .....	21
CRITERE 2 : RISQUE, VOLATILITE DES PRIX ET ANTICIPATIONS .....	22
CRITERE 3 : LUTTE CONTRE LA PAUVRETE .....	25
CRITERE 4 : CAPACITE D'INNOVATION .....	27
CRITERE 5 : ENVIRONNEMENT ET BIODIVERSITE .....	28
CRITERE 6 : SPECIFICITES DE L'AGRICULTURE .....	29
CRITERE 7 : STOCKS AGRICOLES .....	31
<b>PISTES DE DEVELOPPEMENT</b> .....	<b>32</b>
LES MODELES MODULAIRES ET LES MODELES COUPLES .....	33
LES MODELES D'EQUILIBRE GENERAL DYNAMIQUE STOCHASTIQUE (DSGE) .....	34
LES MODELES DE PROGRAMMATION MATHEMATIQUE .....	36
<b>L'EVOLUTION DU MODELE MOMAGRI ET SON POSITIONNEMENT RELATIF</b> .....	<b>38</b>
LA STRUCTURE ET LE TYPE DU MODELE .....	39
L'ANALYSE PAR CRITERE DU MODELE MOMAGRI ET LE ROLE CLE DU MODULE « RISQUE » .....	41
<i>Critère 1 : dépendance-irréversibilité</i> .....	41
<i>Critère 2 : Le monde du risque et la psychologie des acteurs</i> .....	42
<i>Critère 3 : Lutte contre la pauvreté</i> .....	42
<i>Critère 4 : Capacité d'innovation</i> .....	43
<i>Critère 5 : Environnement et biodiversité</i> .....	43
<i>Critère 6 : Spécificités de l'agriculture</i> .....	43
<i>Critère 7 : Stocks agricoles</i> .....	43
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>44</b>
<b>ANNEXE : LISTE DE MODELES NON ANALYSES DANS LE RAPPORT</b> .....	<b>47</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>49</b>

## Introduction

---

Les modèles économiques jouent aujourd'hui un rôle essentiel dans l'analyse des marchés et l'élaboration des politiques économiques, en particulier dans l'agriculture. Ils sont utilisés pour établir des projections sur les quantités et les prix à moyen terme, mais également pour tenter de prédire les impacts, positifs ou négatifs, d'une politique économique sur le fonctionnement des marchés et sur le bien-être des individus concernés. À ce titre, ils jouissent d'un prestige important auprès des décideurs publics et privés, car ils permettent de mieux appréhender des réalités complexes et des évolutions économiques probables, et d'apporter ainsi des réponses précises (mais, on le verra, parfois discutables) aux questions que ceux-ci se posent.

Comme le montrait déjà un précédent rapport rédigé en 2006 sous l'égide de Momagri, « *Les modèles agricoles internationaux au banc d'essai* »<sup>1</sup>, les modèles utilisés souffrent de limitations qui viennent grever de façon parfois importante leur portée. En particulier, ils ne tiennent généralement pas compte des principales spécificités du secteur agricole, telle que le poids de l'incertitude dans les décisions économiques et la faible mobilité des facteurs de production mobilisée.

Ce constat a servi de point de départ à la construction du modèle Momagri, dont l'objectif est de pallier ces limitations en démontrant qu'il est possible d'établir un modèle basé sur des hypothèses alternatives, répondant aux canons des spécialistes de la modélisation des risques et qui conduisent à des résultats très différents en termes de préconisations politiques.

À ce titre, l'objectif du modèle Momagri n'est pas de remettre en cause la rigueur scientifique des modèles existants, qui sont généralement le fruit de nombreuses années de travail de la part d'équipes hautement compétentes ; il ne s'agit pas non plus de remettre en cause le principe même de la modélisation macroéconomique et le nécessaire recours à des hypothèses simplificatrices qu'elle implique. Notre approche vise uniquement à démontrer, premièrement que le choix des hypothèses simplificatrices n'est pas anodin, et qu'il peut conditionner de façon importante les résultats obtenus ; et deuxièmement que, du fait de l'existence de non-linéarités, la prise en compte de l'incertitude dans un modèle peut en modifier les conclusions de manière fondamentale. Dans ces conditions, il nous apparaît essentiel d'alerter les décideurs publics et privés sur les limitations des modèles économiques régulièrement utilisés. Le constat réalisé par le think tank Momagri en 2006 reste pleinement d'actualité. Presque une décennie plus tard, les modèles dominants ont considérablement gagné en taille, grâce au développement de bases de

---

<sup>1</sup> [http://www.momagri.org/UK/PAGE\\_ModelleNRAmal.awp?BTN\\_IMPRIMMAI](http://www.momagri.org/UK/PAGE_ModelleNRAmal.awp?BTN_IMPRIMMAI)

données plus détaillées et à l'augmentation exponentielle de la puissance de calcul des ordinateurs ; mais en ce qui concerne leurs limitations fondamentales, quasiment rien n'a changé. Cet état de fait est d'autant plus critiquable que des avancées scientifiques considérables ont eu lieu en termes de modélisation économique des risques, mais elles ne sont pour la plupart pas intégrées aux modèles utilisés pour guider les politiques économiques.

Ce nouveau banc d'essai a donc pour objectif de mettre à jour le précédent rapport, en pointant les progrès qui ont été faits et leur degré de prise en compte dans les modèles dominants, ainsi que les progrès qui restent à faire et les pistes de recherche actuelles. Il compare également le modèle Momagri aux autres modèles agricoles, en prenant à chaque fois la version la plus récente des modèles, afin de mettre en lumière les avantages comparatifs du modèle Momagri, et les voies de développement à poursuivre afin de préserver cette avance.

## Méthodologie

---

Les modèles économiques représentent des mécaniques complexes, mises en œuvre sous la forme de logiciels pouvant inclure des centaines voire des milliers de lignes. Ils reposent sur une multitude d'hypothèses, explicites ou non, qui influencent de façon importante les résultats obtenus lors des simulations. Dans ces conditions, il est impossible de comparer de manière exhaustive deux modèles entre eux, et il est nécessaire de structurer l'analyse par grandes catégories de modèles, en se concentrant sur les aspects les plus importants. Dans cette section, nous présentons donc les grandes catégories de modèles qui vont permettre de structurer l'analyse, puis les critères d'évaluation qui ont été retenus pour le banc d'essai.

## La catégorisation des modèles

---

Avec les progrès de l'informatique, et surtout l'établissement progressif d'un corpus de bases de données accessibles, le nombre de modèles consacrés à l'agriculture a augmenté de façon importante ces 20 dernières années. Par souci de brièveté, nous nous restreignons dans le présent rapport aux principaux modèles pertinents, c'est-à-dire ceux qui sont régulièrement utilisés à ce jour, et qui couvrent l'Union Européenne dans son ensemble (les modèles consacrés à un seul pays ne sont pas pris en compte). Nous incluons également en annexe quelques modèles qui semblent être tombés en désuétude, ou ne donnent lieu qu'à des publications sporadiques, quand ils présentent un intérêt particulier.

Cette restriction aboutit à prendre en compte une douzaine de modèles, qui peuvent être catégorisés de manière schématique selon deux dimensions : premièrement le périmètre d'analyse, c'est-à-dire le nombre

de secteurs de l'économie qu'ils prennent en compte, et deuxièmement l'utilisation qui en est faite.

## Modèles d'équilibre général et modèles d'équilibre partiel

---

En premier lieu, en termes de périmètre d'analyse, les modèles économiques peuvent être classés en deux catégories : les modèles d'équilibre général (MEG), qui modélisent explicitement tous les secteurs de l'économie, et les modèles d'équilibre partiel (MEP), qui ne modélisent explicitement qu'un seul secteur. Les MEG offrent l'avantage de pouvoir prendre en compte tous les effets, même indirects, d'une politique ou d'un changement dans l'économie, et notamment des interventions éventuelles sur le marché du travail ; en contrepartie, ils n'offrent qu'une modélisation sommaire des différences entre secteurs, n'intègrent généralement pas les impacts de la politique monétaire et souffrent d'une plus grande complexité. Les MEP offrent l'avantage d'une modélisation plus appropriée du secteur étudié, mais au prix d'un manque de généralité. Pour mémoire, le modèle Momagri est un MEG.

Formellement, les modèles d'équilibre général analysés dans le présent rapport appartiennent tous à une sous-catégorie des modèles d'équilibre général, à savoir les modèles d'équilibre général calculable (EGC) ; cette distinction sera reprise dans la section IV de la présente étude, où nous analyserons des modèles d'équilibre général qui ne sont pas des modèles d'équilibre général calculable, mais jusque là, nous nous en tiendrons à la distinction entre modèles d'équilibre général et modèles d'équilibre partiel.

Un MEG et un MEP ne sont donc pas directement comparables, puisqu'ils mettent l'accent sur des aspects différents de la réalité, et relèvent de philosophies de modélisation différentes ; les MEG sont ainsi utilisés avant tout pour évaluer l'impact économique d'accords commerciaux de grande envergure, alors que les MEP sont surtout utilisés pour obtenir des prévisions fines des quantités produites à moyen terme. Dans la description des modèles analysés, nous distinguerons donc entre ces deux catégories de modèles.

## Les différents usages des modèles

---

Outre la distinction entre MEG et MEP, une seconde distinction est importante, cette fois en termes d'usage. Il faut en effet distinguer entre :

- Les usages de politique économique, que l'on qualifiera ici d'« usages politiques » par souci de brièveté, que ce soit pour évaluer l'impact d'une décision politique (ex. : réforme de la PAC) ou les effets à attendre d'un accord de libre-échange, dont les résultats sont repris dans les déclarations des décideurs politiques et dans la presse ;

- la recherche académique, qui vise à mieux comprendre le fonctionnement général de l'économie et les mécanismes à l'œuvre.

En effet, le degré de réalisme attendu n'est pas le même dans les deux cas. Un modèle utilisé politiquement doit rendre compte des aspects les plus importants de la réalité aussi fidèlement que l'état de la science et les données disponibles le permettent de manière fiable. *A contrario*, un modèle utilisé pour la recherche académique peut s'accomoder de simplifications extrêmes sur les aspects qui ne sont pas l'objet de la recherche ; il peut également modéliser les aspects étudiés d'une façon très fine mais théorique, qui ne se prête pas à la mesure empirique.

Ce découpage en apparence simple est en pratique complexe, car certains des modèles utilisés politiquement sont également utilisés dans la recherche académique : ils sont utilisés dans leur forme la plus simple pour les analyses politiques, et se voient adjoindre des modules ou des propriétés plus complexes dans le cadre de la recherche académique. Cette complexification est généralement faite au cas par cas, conformément à la démarche scientifique : les chercheurs partent du modèle simplifié, dont les propriétés et les résultats sont connus ; ils modifient une seule propriété du modèle en gardant en l'état toutes les autres, pour observer les conséquences de ce changement. Ainsi, les trois principaux modèles d'équilibre général calculable, GTAP, LINKAGE et MIRAGE, sont utilisés à la fois dans les analyses politiques et dans la recherche académique.

Comme l'utilisation politique des modèles est notre principale préoccupation, dans le reste de l'analyse nous distinguerons entre les modèles qui sont utilisés politiquement, qu'ils soient ou non utilisés dans la recherche académique, et les modèles purement académiques. Dans le cas des modèles qui sont utilisés dans les deux champs, il faudra distinguer entre les aspects pris en compte dans les usages politiques et les aspects pris en compte dans les usages académiques. En effet, si un aspect est pris en compte dans le cadre académique mais pas dans le cadre politique, cela limite considérablement la portée des conclusions de politique économique que l'on peut tirer de ce modèle, et doit inviter à la prudence quant à l'interprétation des résultats issus du modèle. *A contrario*, ce dualisme de certains modèles va faciliter notre analyse car les versions plus avancées des modèles utilisées pour la recherche académique montrent en creux les limitations des modèles utilisés politiquement, tout en illustrant ce qu'il est possible de faire.

## Les critères d'évaluation

---

L'évaluation d'un modèle économique est une tâche complexe. En effet, comme le soulignent à raison les économistes, un modèle représente toujours nécessairement une simplification de la réalité. Un modèle parfaitement fidèle à la réalité serait comme une carte à l'échelle 1:1

(1cm sur la carte représentant 1cm dans la réalité), impossible à construire et inutilisable.

Cela ne signifie pas pour autant qu'on ne puisse rien dire d'un modèle et qu'on ne puisse pas discuter le choix d'hypothèses qui a été fait. Ainsi, il arrive souvent que des hypothèses présentées comme « techniques », censément utilisées pour faciliter la modélisation sans altérer les conclusions du modèle, contribuent en réalité de façon importante à biaiser les conclusions de politique économique. Le choix des hypothèses n'est pas neutre, en particulier quand d'autres hypothèses, potentiellement plus réalistes mais toujours simplificatrices, conduiraient à des résultats radicalement différents. Comme le notaient déjà en 2005 des chercheurs de la Banque Mondiale, « *[les modèles EGC ont fait l'objet de critiques quand ils ont été déployés pour défendre un degré de précision dans les simulations du futur qui n'est justifié ni par la qualité des informations qui rentrent dans le modèle, ni par le degré de sensibilité des résultats aux hypothèses]* »<sup>2</sup>.

Par conséquent, le présent banc d'essai ne doit pas être interprété comme une diatribe contre l'irréalisme des modèles économiques. Nous adhérons pleinement à l'affirmation d'Albert Einstein qu'un modèle doit être « *aussi simple que possible, mais pas plus simple* ». Heureusement, la science comptable, parent pauvre de l'économie, nous livre une règle directrice aisément transposable sous la forme du *principe de matérialité* : une erreur ou omission est matérielle si elle est suffisamment importante pour induire en erreur le décideur et modifier indûment sa décision. Dans le cas présent, les décisions prises sont les politiques agricoles et les accords commerciaux internationaux, qui reposent sur la compréhension que les décideurs ont du fonctionnement des marchés agricoles. Nous considérerons donc qu'une hypothèse est indûment simplificatrice si elle conduit à une compréhension erronée, et par là à une prise de décision politique sous-optimale.

Pour ce faire, il convient de lister les aspects fondamentaux du fonctionnement des marchés agricoles, indispensables à leur bonne compréhension, et de déterminer si les modèles les prennent adéquatement en compte. Le précédent banc d'essai réalisé par Momagri esquissait une liste de ce que pourraient être les critères appropriés pour évaluer la portée et la pertinence des modèles économiques de l'agriculture. Nous avons repris et amendé cette liste pour tenir compte des modifications intervenues depuis lors dans le fonctionnement des marchés agricoles ainsi que des avancées de la science économique :

1. Le modèle permet-il d'évaluer les effets négatifs potentiels des dépendances excessives vis-à-vis de l'extérieur et l'impact des effets de « lock-in » (irréversibilité) sur les générations futures ?

---

<sup>2</sup> (Piermartini & Teh, 2005), traduction Momagri.

2. Le modèle tient-il compte du fait que la production et les échanges agricoles interviennent dans un monde risqué, où la psychologie et les anticipations des acteurs jouent un rôle essentiel, renforcé par le poids de la spéculation et la volatilité des prix ?
3. Le modèle peut-il tenir compte de l'objectif proclamé par tous de dépassement de la pauvreté dans le monde et mesurer les effets à cet égard de telle ou telle organisation des échanges internationaux agricoles ?
4. Le modèle évalue-t-il l'impact de l'organisation des échanges internationaux agricoles sur la capacité d'innovation agroalimentaire dans le monde et de son partage équitable ?
5. Le modèle permet-il d'évaluer les impacts des échanges internationaux et de l'organisation des marchés sur l'environnement et la biodiversité ?
6. Le modèle permet-il d'intégrer les particularités de l'agriculture par rapport aux autres activités économiques ?
7. Le modèle permet-il de prendre en compte l'importance des stocks dans le fonctionnement du secteur agricole et de comprendre leur évolution ?

## Description des modèles analysés

---

Comme nous l'avons vu, les deux principales distinctions pertinentes pour l'analyse des modèles économiques de l'agriculture sont celle entre modèles d'équilibre général et modèles d'équilibre partiel, et celle entre modèles utilisés politiquement et ceux appartenant purement au domaine académique.

En dehors de ces deux distinctions, la diversité apparente des modèles ne doit pas masquer leur grande proximité : la construction d'un modèle économique de grande taille, et surtout des bases de données nécessaires à son exploitation constitue un projet de grande ampleur, nécessitant un investissement significatif en ressources. Pour réduire ces coûts, la majorité des projets reprend des éléments de modèles existants, et surtout les bases de données existantes, en particulier celles du projet GTAP.

Lancé en 1991 par l'Université de Purdue aux Etats-Unis, celui-ci est un projet de grande ampleur, avec plusieurs milliers de chercheurs dans des établissements de recherche publics et privés collaborant à son développement depuis vingt-cinq ans. A ce titre, il s'agit d'un projet scientifique comparable en taille à ceux observés en physique ou en astronomie, le seul de cette envergure en économie. Le projet s'articule autour de bases de données couvrant plus de 120 pays, qui incluent les informations nécessaires pour construire un modèle d'équilibre général international ; ces bases de données sont utilisées par la majorité des modèles d'équilibre général existants, ce qui favorise la cohérence entre modèles et permet aux chercheurs de se concentrer sur les aspects de



modélisation qui les intéressent et moins sur la construction et l'harmonisation des données, un processus long et laborieux. À ces bases de données s'ajoute un modèle d'équilibre général international générique, qui permet aux chercheurs qui l'utilisent de ne pas avoir à recréer un modèle en partant de zéro. Ce modèle est discuté plus en détail ci-dessous.

Par ailleurs, la recherche d'économies d'échelle peut conduire à la mutualisation des équipes avec la construction en parallèle de modèles complémentaires et/ou appelés à être utilisés en conjonction. Depuis 2006, le *Joint Research Centre* (JRC) de la Commission Européenne a ainsi développé une plateforme, nommée « integrated Modelling Platform for Agro-economic Commodity and Policy Analysis » (iMAP), qui intègre 4 principaux modèles d'équilibre partiel (AgLINK-COSIMO, CAPRI, ESIM et AGMEMOD) et 3 principaux modèles d'équilibre général (GTAP, GLOBE et MAGNET), complétés par des modèles secondaires, notamment biophysiques<sup>3</sup>. Ces différents modèles sont utilisés par le JRC pour répondre aux demandes de la Commission et étudier l'impact des politiques agricoles envisagées.

Pour chacun des modèles analysés, nous présentons rapidement son origine, ses principales caractéristiques, des exemples d'applications pour lesquelles il est utilisé, ainsi qu'un tableau synthétisant son approche de chacun des 7 critères d'évaluation présentés ci-dessus.

## Modèles d'équilibre général

---

### Modèles utilisés politiquement

---

#### *GLOBE (UE)*

Le modèle GLOBE a été développé par le JRC de la Commission Européenne. Il s'inspire largement du modèle GTAP, ainsi que du modèle IMPACT de l'IFPRI. Il fait partie de la plateforme iMAP du JRC. Il a notamment été utilisé pour évaluer les impacts d'un accord éventuel de libre-échange entre l'Union Européenne et le Mercosur<sup>4</sup>, ainsi que pour évaluer les effets sur l'agriculture du changement climatique<sup>5</sup>.

Nous ne disposons pas d'informations précises sur la structure du modèle GLOBE (il n'est pas documenté séparément), et devons donc supposer qu'il est similaire au modèle GTAP décrit ci-dessous.

---

<sup>3</sup> (M'barek, et al., 2012).

<sup>4</sup> (Burrell & alii., 2011).

<sup>5</sup> (Robinson & Willenbockel, 2010).

### GTAP (Université de Purdue)<sup>6</sup>

Le projet GTAP (*Global Trade Analysis Project*) lancé en 1991 inclut à la fois les bases de données déjà mentionnées qui sont largement utilisées par les modélisateurs, et le modèle GTAP lui-même. Celui-ci est un modèle d'équilibre général très simplifié mais aisément modifiable, qui est utilisé et adapté par un grand nombre de chercheurs dans le monde, principalement pour l'analyse des accords de libre-échange. Ainsi, une revue de la littérature économique en 2008 sur le cycle de Doha<sup>7</sup> notait que sur les 110 principaux articles, près de la moitié utilisaient une variante de GTAP. Une version adaptée au secteur agricole, GTAP-Agr, a été développée en 2005, avec pour principale modification un ajustement des élasticités de substitution<sup>8</sup>.

Critère	Prise en compte dans le modèle
1. Dépendance et irréversibilités	Non
2. Risque, volatilité des prix et anticipations	Non
3. Lutte contre la pauvreté	Oui, par un module de micro-simulation
4. Capacité d'innovation	Prise en compte partielle (impacts sur la productivité) dans certaines extensions
5. Environnement et biodiversité	Possibilité de prise en compte de l'environnement par couplage de modèles
6. Prise en compte des spécificités de l'agriculture	Seulement pour les élasticités
7. Prise en compte des stocks	Non dans le modèle standard ; une version académique du modèle a été développée avec stockage privé sans modélisation des anticipations

### LINKAGE (Banque mondiale)<sup>9</sup>

Le modèle LINKAGE a été développé dans les années 1980 par la Banque Mondiale. Il est utilisé pour le rapport *Global Economic Prospects* de la

---

<sup>6</sup> (Walmsley, et al., 2012) (Hertel, 2012).

<sup>7</sup> (Hess & von Cramon-Taubadel, 2008)

<sup>8</sup> (Keeney & Hertel, 2005).

<sup>9</sup> (Van der Mensbrugghe, 2005).

Banque Mondiale, ainsi que pour des études thématiques, en particulier sur le commerce international<sup>10</sup>. Plus récemment, il a été utilisé pour l'analyse de la pauvreté avec un module de micro-simulation dédié<sup>11</sup>.

Critère	Prise en compte dans le modèle
1. Dépendance et irréversibilités	Non
2. Risque, volatilité des prix et anticipations	Non
3. Lutte contre la pauvreté	Possibilité de prise en compte par un module de micro-simulation
4. Capacité d'innovation	Partiellement (impacts sur la productivité)
5. Environnement et biodiversité	Non, mais la Banque Mondiale a développé un modèle MEG dédié, ENVISAGE
6. Prise en compte des spécificités de l'agriculture	Seulement pour les élasticités
7. Prise en compte des stocks	Non

### MAGNET (UE)<sup>12</sup>

Le modèle MAGNET (*Modular Agricultural GeNeral Equilibrium Tool*) a été développé par l'institut de recherche néerlandais LEI Wageningen UR, en partenariat avec le JRC (*Joint Research Centre*) de la Commission Européenne. Il succède au modèle LEITAP lancé en 1996 et en reprend de nombreux éléments. Il fait partie de la plateforme iMAP du JRC et a notamment été utilisé pour analyser la PAC<sup>13</sup>, le secteur des biocarburants<sup>14</sup> et les émissions de gaz à effet de serre dans l'Union Européenne<sup>15</sup>.

<sup>10</sup> (Laborde, et al., 2012).

<sup>11</sup> (Bussolo, et al., 2010).

<sup>12</sup> (Woltjer & Kuiper, 2014).

<sup>13</sup> (Boulanger & Philippidis, 2014).

<sup>14</sup> (Smeets, et al., 2014).

<sup>15</sup> (Helming & alii., 2015).

Critère	Prise en compte dans le modèle
1. Dépendance et irréversibilités	Non
2. Risque, volatilité des prix et anticipations	Non
3. Lutte contre la pauvreté	Non
4. Capacité d'innovation	Non
5. Environnement et biodiversité	Oui pour l'environnement ; non pour la biodiversité
6. Prise en compte des spécificités de l'agriculture	Seulement pour les élasticités
7. Prise en compte des stocks	Non

### *MIRAGE (CEPII)*<sup>16</sup>

Le modèle MIRAGE (Modeling International Relationships in Applied General Equilibrium) a été développé depuis 2002 par l'institut de recherche français CEPII (Centre d'Etudes Prospectives et d'Informations Internationales), rattaché au Premier Ministre. L'IFPRI et plusieurs directions générales de la Commission Européenne contribuent également au développement du modèle. Ce modèle est consacré à l'analyse des politiques commerciales au niveau mondial. Il a notamment été utilisé pour analyser le cycle de Doha<sup>17</sup> ou l'approfondissement du marché intérieur européen<sup>18</sup>.

---

<sup>16</sup> (Decreux & Valin, 2007).

<sup>17</sup> (Bouët, et al., 2004), (Decreux & Fontagné, 2011).

<sup>18</sup> (Aussilloux, et al., 2011).

Critère	Prise en compte dans le modèle
1. Dépendance et irréversibilités	Non
2. Risque, volatilité des prix et anticipations	Non
3. Lutte contre la pauvreté	Possibilité de prise en compte par un module de micro-simulation
4. Capacité d'innovation	Non
5. Environnement et biodiversité	Non
6. Prise en compte des spécificités de l'agriculture	Seulement pour les élasticités
7. Prise en compte des stocks	Non

## Modèles académiques

### *Féménia (INRA)*

La chercheuse de l'INRA Fabienne Féménia a développé dans sa thèse de doctorat<sup>19</sup> une variante du modèle GTAP-Ag intégrant à la fois les risques exogènes et les anticipations des acteurs. Ce modèle a ensuite été développé, notamment en partenariat avec Alexandre Gohin<sup>20</sup>, et pour prendre en compte le stockage<sup>21</sup>. Il présente plusieurs caractéristiques intéressantes et pertinentes pour notre étude, mais souffre d'un certain nombre de limitations, qui restreignent sa portée. La prise en compte des spécificités du secteur agricole est seulement partielle : les délais dans la production et l'incapacité d'ajuster celle-ci après coup sont intégrés, ainsi que les facteurs de risque physiques exogènes et les facteurs de risque psychologiques endogènes, mais pas l'aversion pour le risque des agents. De même, le rôle des spéculateurs financiers est limité au stockage entre périodes, et l'hétérogénéité des anticipations sur les marchés financiers

<sup>19</sup> (Féménia, 2010).

<sup>20</sup> (Féménia & Gohin, 2011), (Féménia, 2012), (Féménia & Gohin, 2013).

<sup>21</sup> (Femenia, 2010).

n'est pas prise en compte. La modélisation du stockage reste sommaire, avec seulement le stockage privé.

Les résultats obtenus dans le modèle doivent donc être interprétés avec prudence. En particulier, la volatilité générée dans le modèle reste généralement inférieure à celle observée dans la réalité.

Critère	Prise en compte dans le modèle
1. Dépendance et irréversibilités	Non
2. Risque, volatilité des prix et anticipations	Partielle
3. Lutte contre la pauvreté	Non
4. Capacité d'innovation	Non
5. Environnement et biodiversité	Non
6. Prise en compte des spécificités de l'agriculture	Partielle
7. Prise en compte des stocks	L'analyse est limitée aux stocks privés avec objectif de maximisation du profit

### *ID<sup>3</sup> (CIRAD)<sup>22</sup>*

Le modèle ID<sup>3</sup> (modèle International Dynamique pour l'étude du Développement durable et de la Distribution des revenus) a été développé à partir de 1999 par l'institut de recherche français CIRAD (centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) à partir des travaux menés par Jean-Marc Boussard. Ce modèle prend en compte plusieurs des spécificités du secteur agricole, et s'efforce d'évaluer l'instabilité des prix agricoles.

Tout comme le modèle de Féménia mentionné ci-dessus, le modèle ID<sup>3</sup> représente un progrès par rapport aux modèles classiques utilisés politiquement, mais il présente les mêmes limitations : pas de prise en compte de la spéculation financière, modélisation limitée du stockage. L'aversion pour le risque des acteurs est prise en compte, mais dans une perspective très classique et ne tenant pas compte des recherches les plus récentes.

---

<sup>22</sup> (Boussard, et al., 2002)  
(Boussard, et al., 2004)  
(Boussard, et al., 2006).

Les résultats obtenus avec le modèle ID<sup>3</sup> sont malheureusement sujets à caution dans la mesure où ils sont trop fortement instables par rapport à l'observation courante. En outre, dans un certain nombre de cas, la simulation doit être interrompue avant d'avoir atteint le nombre de périodes souhaité.

Critère	Prise en compte dans le modèle
1. Dépendance et irréversibilités	Non
2. Risque, volatilité des prix et anticipations	Partielle
3. Lutte contre la pauvreté	Partiellement, avec plusieurs agents représentatifs
4. Capacité d'innovation	Non
5. Environnement et biodiversité	Non
6. Prise en compte des spécificités de l'agriculture	Partielle
7. Prise en compte des stocks	L'analyse est limitée aux stocks publics comme outil de politique agricole

## Modèles d'équilibre partiel

Après ce tour d'horizon des modèles d'équilibre général, nous allons examiner les modèles d'équilibre partiel. Les seuls modèles d'équilibre partiel retenus ici sont ceux qui sont utilisés politiquement, car les modèles purement académiques ne présentent pas un intérêt suffisant pour être présentés en détail ; plusieurs de ces derniers sont mentionnés en annexe, pour mémoire.

### *AgLINK-COSIMO (OCDE/FAO/UE)*

Le modèle AgLINK-COSIMO est le résultat de la coopération entamée en 2004 par la FAO et l'OCDE pour produire des prévisions à 10 ans des volumes de production et des prix agricoles, au niveau national, régional et global. Il sert de base aux projections à moyen terme de la DG Agri de la Commission Européenne<sup>23</sup> ; il est utilisé par l'OCDE et la FAO, notamment

<sup>23</sup> (Commission Européenne, DG agriculture et développement rural, 2014).

pour l'étude des biocarburants<sup>24</sup> ; il a aussi servi pour l'analyse d'accords de libre-échange<sup>25</sup>. Il fait partie de la plateforme iMAP du JRC.

La modélisation est réalisée à partir d'un questionnaire annuel adressé aux pays membres de l'OCDE sur leurs prévisions à moyen terme ; les résultats des prévisions nationales sont harmonisés et ajustés dans le modèle d'ensemble pour qu'ils soient cohérents.

Le modèle de base est entièrement déterministe ; il a été étendu pour prendre en compte la variabilité des rendements agricoles, mais en préservant l'hypothèse d'information parfaite des acteurs<sup>26</sup>.

Critère	Prise en compte dans le modèle
1. Dépendance et irréversibilités	Non
2. Risque, volatilité des prix et anticipations	Partielle pour le risque ; non pour la volatilité des prix et les anticipations
3. Lutte contre la pauvreté	Non
4. Capacité d'innovation	Non
5. Environnement et biodiversité	Possibilité de prise en compte de l'environnement par couplage de modèles
6. Prise en compte des spécificités de l'agriculture	Seulement pour les élasticités
7. Prise en compte des stocks	Partielle, la loi d'évolution est estimée économétriquement

### AGMEMOD (UE)<sup>27</sup>

Le modèle AGMEMOD a été développé à partir de 2001 par Teagasc Ireland, l'autorité de contrôle agricole et alimentaire irlandaise, avec des financements de la Commission Européenne. Il a fortement été influencé par le modèle FAPRI EU GOLD (cf. ci-dessous).

Ce modèle permet une analyse des politiques agricoles et alimentaires au niveau de l'Union Européenne ou d'un ou plusieurs de ses pays membres. Il autorise une prise en compte plus fine de l'hétérogénéité des politiques entre pays de l'Union que la majorité des autres modèles, grâce à une approche « bottom-up » : la structure du modèle est définie et les

<sup>24</sup> (von Lampe, 2008).

<sup>25</sup> (Nekhay, et al., 2011).

<sup>26</sup> (Taya, 2012).

<sup>27</sup> (Chantreuil, et al., 2012).



paramètres calibrés au niveau du pays, puis les résultats par pays sont agrégés au niveau communautaire, au lieu d'imposer une structure commune à tous les pays. Il fait partie de la plateforme iMAP du JRC.

Il est notamment utilisé pour établir des prévisions à 10 ans, ainsi que pour l'évaluation des réformes de la PAC<sup>28</sup>.

Critère	Prise en compte dans le modèle
1. Dépendance et irréversibilités	Non
2. Risque, volatilité des prix et anticipations	Non
3. Lutte contre la pauvreté	Non
4. Capacité d'innovation	Non
5. Environnement et biodiversité	Non
6. Prise en compte des spécificités de l'agriculture	Seulement pour les élasticités
7. Prise en compte des stocks	Partielle, la loi d'évolution est estimée économétriquement

### CAPRI (UE)<sup>29</sup>

Le modèle CAPRI (*Common Agricultural Policy Regionalized Impact model*) a été développé à la fin des années 1990 sous l'égide de l'Union Européenne, dans le but d'analyser les conséquences des politiques agricoles européennes et des politiques commerciales relatives aux matières premières agricoles.

Le modèle a une structure modulaire : un premier module, dit « module de production », détermine les décisions des producteurs au niveau des exploitations agricoles en recourant à la programmation mathématique (cf. partie IV la description de ce type de modèles) ; le second module, dit « module de marché », détermine la demande locale et internationale pour les produits agricoles. Ce second module s'inspire largement du modèle GTAP en le simplifiant, et en reprenant les bases de données GTAP. La résolution du modèle est obtenue de manière itérative, les informations

<sup>28</sup> (AGMEMOD Partnership, 2008).

<sup>29</sup> (Britz & Witzke, 2014).

sur les prix et les quantités produites étant échangées entre les deux modules jusqu'à ce qu'ils cessent de varier.

L'une des spécificités et des forces du modèle CAPRI est le niveau de finesse dans la désagrégation du secteur agricole : celui-ci est décomposé en 2000 agents représentatifs, représentant différents types d'exploitations agricoles (en fonction des produits, de la taille de l'exploitation, et de sa région).

Il est aujourd'hui l'un des principaux modèles de la plateforme iMAP (*integrated modelling platform for agro-economic commodity and policy analysis*)<sup>30</sup> développée par le JRC (*Joint Research Center*, centre de recherche de la Commission Européenne). À ce titre, il est utilisé dans les projections à moyen terme de la DG Agri de la Commission Européenne, en conjonction avec d'autres modèles, ainsi que pour l'analyse des politiques agricoles européennes<sup>31</sup>. Une variante du modèle CAPRI nommée SEAMCAP fait également partie du projet SEAMLESS (*System for Environmental and Agricultural Modeling; Linking European Science and Society*)<sup>32</sup> visant à intégrer un ensemble de modèles économiques et biophysiques de l'agriculture européenne à différentes échelles (du niveau communautaire au niveau de l'exploitation agricole individuelle).

Le modèle CAPRI a été utilisé pour l'analyse des impacts environnementaux de l'agriculture, que ce soit en termes d'émissions de gaz à effet de serre<sup>33</sup> ou de balance azotée<sup>34</sup>.

Critère	Prise en compte dans le modèle
1. Dépendance et irréversibilités	Non
2. Risque, volatilité des prix et anticipations	Non
3. Lutte contre la pauvreté	Non
4. Capacité d'innovation	Non
5. Environnement et biodiversité	Possibilité de prise en compte de l'environnement avec un module dédié ou un couplage de modèles
6. Prise en compte des spécificités de l'agriculture	Seulement pour les élasticités

<sup>30</sup> (M'barek, et al., 2012).

<sup>31</sup> (Gocht & Britz, 2011).

<sup>32</sup> (van Ittersum & alii, 2008).

<sup>33</sup> (Witzke, et al., 2014).

<sup>34</sup> (Leip, et al., 2008).

7. Prise en compte des stocks	Partielle, la loi d'évolution est estimée économétriquement
-------------------------------	---

### ESIM (UE)<sup>35</sup>

Le modèle ESIM (*European Simulation Model*) a été développé au milieu des années 1990 initialement par le ministère de l'agriculture américain (USDA) et l'université de Göttingen, sur demande de la Commission Européenne ; depuis 2001, le modèle est développé directement par la DG Agri. Il est intégré à la plateforme iMAP du JRC. La spécificité du modèle est l'analyse des chaînes de valeur agro-alimentaire à un niveau de désagrégation fin.

Il a été utilisé pour l'analyse des politiques agricoles européennes<sup>36</sup>, pour étudier l'impact des biocarburants sur le secteur agricole<sup>37</sup>, ainsi que pour évaluer l'impact du changement climatique sur l'agriculture<sup>38</sup>.

Critère	Prise en compte dans le modèle
1. Dépendance et irréversibilités	Non
2. Risque, volatilité des prix et anticipations	Partielle pour le risque ; non pour la volatilité des prix et les anticipations
3. Lutte contre la pauvreté	Non
4. Capacité d'innovation	Non
5. Environnement et biodiversité	Possibilité de prise en compte de l'environnement par couplage de modèles
6. Prise en compte des spécificités de l'agriculture	Seulement pour les élasticités
7. Prise en compte des stocks	Partielle, la loi d'évolution est estimée économétriquement

### FAPRI (FAPRI)<sup>39</sup>

L'institut de recherche américain FAPRI (*Food and Agricultural Policy Research Institute*) a été établi au début des années 1980 sur la base d'une

<sup>35</sup> (Grethe, Harald, et alii., 2012).

<sup>36</sup> (Depperman, et al., 2010).

<sup>37</sup> (Blanco Fonseca & al, 2010).

<sup>38</sup> (Möller, et al., 2011).

<sup>39</sup> (Meyers, et al., 2010).

collaboration entre le *Center for Agricultural and Rural Development* (CARD) de l'*Iowa State University*, et le *Center for National Food and Agricultural Policy* (CNFAP) de l'*University of Missouri-Columbia*. Il a développé le modèle qui porte son nom. Celui-ci est consacré aux politiques agricoles et aux politiques commerciales relatives aux matières premières agricoles, aux Etats-Unis et dans le monde (avec une modélisation plus ou moins fine des autres régions du monde selon les produits considérés). Ce projet est financé par le Congrès américain.

Le modèle FAPRI est utilisé pour établir des projections à 10 ans des principaux marchés agricoles au niveau américain et mondial<sup>40</sup> ainsi que pour étudier les marchés des biocarburants<sup>41</sup>, et l'impact sur l'environnement des changements dans l'usage des sols<sup>42</sup>. Une version du modèle centrée sur les marchés européens, FAPRI EU-GOLD<sup>43</sup>, a été développée à la fin des années 1990 et utilisée pour analyser la PAC<sup>44</sup>.

Critère	Prise en compte dans le modèle
1. Dépendance et irréversibilités	Non
2. Risque, volatilité des prix et anticipations	Partielle pour le risque ; non pour la volatilité des prix et les anticipations
3. Lutte contre la pauvreté	Non
4. Capacité d'innovation	Non
5. Environnement et biodiversité	Possibilité de prise en compte de l'environnement par couplage de modèles
6. Prise en compte des spécificités de l'agriculture	Seulement pour les élasticités
7. Prise en compte des stocks	Partielle, la loi d'évolution est estimée économétriquement

<sup>40</sup> (Food and Agricultural Policy Research Institute, 2011) (Food and Agricultural Policy Research Institute - University of Missouri, 2015)

<sup>41</sup> (Thompson, et al., 2008), (Babcock, et al., 2013).

<sup>42</sup> (Dumortier & alii, 2010).

<sup>43</sup> (Hanrahan, 2001).

<sup>44</sup> (Binfield & Westhoff, 2003).

## Analyse par critère

---

Dans l'introduction, nous avons présenté les critères d'évaluations retenus pour l'analyse des modèles, que nous rappelons ici pour mémoire :

1. Le modèle permet-il d'évaluer les effets négatifs potentiels des dépendances excessives vis-à-vis de l'extérieur et l'impact des effets de « lock-in » (irréversibilité) sur les générations futures ?
2. Le modèle tient-il compte du fait que la production et les échanges agricoles interviennent dans un monde risqué, où la psychologie et les anticipations des acteurs jouent un rôle essentiel, renforcé par le poids de la spéculation et la volatilité des prix ?
3. Le modèle peut-il tenir compte de l'objectif proclamé par tous de dépassement de la pauvreté dans le monde et mesurer les effets à cet égard de telle ou telle organisation des échanges internationaux agricoles ?
4. Le modèle évalue-t-il l'impact de l'organisation des échanges internationaux agricoles sur la capacité d'innovation agroalimentaire dans le monde et de son partage équitable ?
5. Le modèle permet-il d'évaluer les impacts des échanges internationaux et de l'organisation des marchés sur l'environnement et la biodiversité ?
6. Le modèle permet-il d'intégrer les particularités de l'agriculture par rapport aux autres activités économiques ?
7. Le modèle permet-il de prendre en compte l'importance des stocks dans le fonctionnement du secteur agricole et de comprendre leur évolution ?

Pour chacun des 7 critères, nous allons décrire de manière synthétique les grandes tendances communes à la majorité des modèles, mais également les cas particuliers où un ou plusieurs des modèles sortent du lot. Après la présentation modèle par modèle que nous avons réalisée ci-dessus, cette approche transversale permettra de mettre en perspective ce qui a été réalisé et ce qui reste à faire critère par modèle.

### Critère 1 : Dépendance et irréversibilités

---

Du fait des particularités du secteur agricole, les politiques économiques relatives à l'agriculture présentent des facteurs de risque spécifiques pour les pays concernés.

En particulier, les échanges agricoles internationaux, comme les échanges internationaux de toutes les matières premières stratégiques, ne sont pas de simples transactions d'ordre purement commercial : ils instaurent des relations de dépendance économique, aux conséquences politiques majeures. Ainsi, les relations diplomatiques et politiques entre

l'Union Européenne et la Russie sont fortement influencées par les exportations de matières premières agricoles et énergétiques de cette dernière. L'idée que les transactions économiques internationales puissent n'obéir qu'aux signaux de prix sur un marché « libre et sans entrave » est une fiction : aucun gouvernement ne résiste à la tentation de l'ingérence dans les échanges internationaux quand il considère que ses intérêts stratégiques sont en jeu, et les sanctions de l'OMC, quand elles existent, n'ont qu'un impact limité.

Cet impact politique de l'organisation de la production et des échanges agricoles est d'autant plus important qu'il existe des effets de cliquet, rendant certaines décisions irréversibles. Quand l'appareil de production dans un pays a été démantelé, il devient long et coûteux de le reconstituer. Même quand l'appareil de production existe, étant donné les délais de production inhérents au secteur agricole, il est impossible d'augmenter rapidement la production pour compenser une catastrophe naturelle, ou la défaillance ou la mauvaise volonté d'un partenaire commercial. L'enjeu est alors la souveraineté et la sécurité alimentaire du pays concerné, qui peuvent être mises en danger par des décisions de politique économique.

Paradoxalement, ces phénomènes sont aujourd'hui souvent mieux compris et pris en compte par les entreprises, qui s'efforcent d'identifier les facteurs de risque et de dépendance dans leurs chaînes d'approvisionnement, que par les États. En effet, les modèles économiques, qu'ils soient d'équilibre général ou partiel, négligent entièrement les facteurs de dépendance et le rôle des irréversibilités. Il s'agit là d'une limite fondamentale de l'analyse économique des échanges internationaux telle qu'elle existe aujourd'hui. L'analyse économique doit donc être complétée par des indicateurs spécialement conçus, tels que l'Indicateur de Solvabilité Alimentaire (ISA) développé par le Think Tank Momagri.

## Critère 2 : Risque, volatilité des prix et anticipations

---

La production dans le secteur agricole est soumise à des aléas naturels (climat, épizooties, sécheresses et inondations), qui rendent les quantités produites difficiles à prédire avec précision. Qui plus est, les délais de production dans le secteur agricole rendent généralement impossibles les ajustements en cours de campagne. À ces facteurs de risque exogènes (i.e. naturels) s'ajoutent des facteurs de risques endogènes (i.e. humains et de marché). En effet, les acteurs économiques, pour prendre leurs décisions d'achat ou de vente, de production et de stockage, s'appuient sur leurs anticipations des quantités et des prix futurs. Ces anticipations diffèrent d'un acteur à l'autre et sont susceptibles de changer brutalement, conduisant à des changements importants dans les comportements. L'interaction entre les facteurs de risque exogènes et endogènes peut donc conduire à des évolutions chaotiques et fortement volatiles des prix, offrant parfois un terrain d'élection à la spéculation.

Ces phénomènes sont connus depuis longtemps, et dès l'entre-deux-guerres, des modèles ont permis de formaliser et de mieux comprendre la dynamique cyclique, voire dans certain cas chaotique, des marchés agricoles causée par les anticipations des acteurs<sup>45</sup>. Pour autant, les facteurs de risque et le rôle des anticipations restent mal, voire pas du tout pris en compte dans les modèles économiques étudiés ici : « *De nombreux modèles de simulation des marchés agricoles ont été développés ces dernières années. Pour autant, force est de constater que plusieurs d'entre eux ne sont pas du tout pertinents pour l'analyse des enjeux économiques liés aux risques agricoles* »<sup>46</sup>. Cet état des lieux est confirmé par l'analyse quantitative des modèles, notamment dans le cas de GTAP : « *[nos résultats les plus intéressants concernent la façon dont le modèle échoue à répliquer le comportement observé des marchés. Il tend à exagérer la volatilité des prix dans les principaux marchés importateurs, tout en sous-estimant la volatilité des prix dans les principales régions exportatrices]* »<sup>47</sup>.

Ainsi, pour les principaux modèles agricoles, les simulations qui sont utilisées politiquement reposent sur des valeurs moyennes constantes pour les rendements agricoles, en supposant qu'au moment où ils prennent leurs décisions de production, les producteurs connaissent parfaitement les prix agricoles qui vont prévaloir; c'est le cas du modèle GTAP, même dans sa déclinaison consacrée au secteur agricole, et des modèles LINKAGE et MIRAGE. L'existence des aléas naturels n'est ainsi même pas intégrée dans l'analyse.

Pour certaines simulations de ces modèles, la variabilité des rendements agricoles est introduite de manière mécanique :

- Les rendements agricoles sont déterminés période par période par tirage aléatoire
- Les producteurs sont informés des valeurs obtenues lors du tirage aléatoire, ainsi que des prix qui en découlent, et ils déterminent leur production en conséquence.

C'est notamment le cas des modèles AgLINK-COSIMO<sup>48</sup>, ESIM<sup>49</sup>, FAPRI<sup>50</sup>, GTAP<sup>51</sup>. Par conséquent, les risques naturels ont par construction un impact limité, puisque les acteurs disposent de toute l'information possible

---

<sup>45</sup> En particulier le modèle dit « du cobweb » ((Ezekiel, 1938), (Hommes, 1994))

<sup>46</sup> (Gohin, 2011).

<sup>47</sup> (Valenzuela, et al., 2007), traduction Momagri.

<sup>48</sup> (Burrell & Nii-Naate, 2013), (Commission Européenne, DG agriculture et développement rural, 2014).

<sup>49</sup> (Artavia, et al., 2009).

<sup>50</sup> « While the FAPRI-MU [Missouri] model has thus far been referred to as a stochastic model for agricultural policy analysis, it is in truth both a partial equilibrium, as well as partial-stochastic model » (Meyer, et al., 2010) cf. également (Feng, et al., 2013).

<sup>51</sup> (Hertel, et al., 2005)

au moment de prendre leurs décisions. Cette approche est donc limitée dans sa portée et son intérêt.

En définitive, aucun des modèles utilisés politiquement ne prend en compte de manière appropriée l'incertitude et les anticipations, qui sont pourtant indispensables pour comprendre la volatilité des prix agricoles. La situation est légèrement meilleure pour le versant académique, puisque plusieurs modèles ont été développés dans la perspective de prendre en compte les risques agricoles et le rôle des anticipations, à savoir le modèle développé par Fabienne Féménia à l'INRA et le modèle ID<sup>3</sup> du CIRAD. Il faut noter en effet qu'il existe à ce jour une « relative exception française » concernant l'intérêt pour la prise en compte des risques dans les modèles économiques de l'agriculture<sup>52</sup>. Le modèle de Fabienne Féménia comme le modèle ID<sup>3</sup> intègrent des anticipations imparfaites des acteurs, ces derniers n'ajustant que partiellement leurs prévisions d'une période à la suivante. Ces deux modèles présentent donc une première approche utile de la question, mais leurs résultats restent encore insatisfaisants, car ils ne parviennent pas à rendre compte de la dynamique réelle des marchés agricoles : soit les fluctuations des prix restent en permanence très faibles, soit elles sont en permanence très élevées. Les auteurs du modèle ID<sup>3</sup> notent ainsi « *il faut reconnaître que, si dans le modèle standard le fonctionnement parfait des marchés est exagéré, et génère des séries de prix trop stables pour être réalistes, le fonctionnement des marchés dans la version en information imparfaite du modèle ID3 n'est pas satisfaisant non plus. Les marchés fonctionnent toujours mal et pas uniquement dans certaines périodes de crises, comme dans la réalité. Les fluctuations de prix sont ainsi toujours répétées, hausses vertigineuses et écroulements des cours se succèdent* »<sup>53</sup>. Dans un certain nombre de cas, la simulation doit être interrompue avant d'avoir atteint le nombre d'années souhaité car elle conduit à une situation irréalisable, où le modèle est incapable de déterminer les valeurs suivantes pour la simulation.

Le modèle Momagri reste donc à ce jour l'un des seuls modèles à traiter de manière satisfaisante le rôle du risque et des anticipations dans le fonctionnement des marchés agricoles. Ceci tient entre autres à la prise en compte dans le modèle de la spéculation, qui est absente des autres modèles alors qu'elle joue un rôle important dans les fluctuations réelles des prix agricoles<sup>54</sup>.

Plus généralement, les trois modèles mentionnés, Momagri, Féménia et ID<sup>3</sup>, démontrent l'importance de prendre en compte correctement l'incertitude et les anticipations des acteurs économiques, car les résultats diffèrent de façon importante de ceux obtenus avec des modèles sans incertitude, notamment en termes de volatilité des prix agricoles.

---

<sup>52</sup> (Gohin, 2011)

<sup>53</sup> (Gérard, et al., 2007).

<sup>54</sup> (Munier, 2010)



### Critère 3 : Lutte contre la pauvreté

---

La question de l'impact du commerce international sur la pauvreté constitue un enjeu majeur des négociations internationales sur les accords de libre-échange. Le cycle de négociations de Doha a ainsi été nommé « agenda du développement » pour souligner les bénéfices en termes de lutte contre la pauvreté qu'escomptent les promoteurs de ces négociations.

Pourtant, les études empiriques portant sur les relations entre commerce international et pauvreté montrent des résultats ambigus<sup>55</sup>. Qui plus est, les ménages pauvres n'ont été intégrés explicitement dans les modèles d'équilibre général consacrés au commerce international qu'à une date très récente, et de manière limitée. En effet, ces modèles intègrent généralement un agent représentatif censé incarner l'intégralité de la population de chaque région ou pays modélisé. Il est alors implicitement supposé que l'augmentation du revenu de cet agent représentatif bénéficie au moins en partie aux habitants les plus pauvres de la région considérée, sur la base d'arguments théoriques. Aujourd'hui encore, les simulations qui sont mises en avant pour évaluer les bénéfices à attendre des accords de libre-échange (tels que le TTIP) recourent à un agent représentatif.

Quant aux modèles d'équilibre partiel, ils n'ont pas vocation à examiner le fonctionnement global d'une économie, et ne peuvent donc pas rendre compte de la pauvreté en général ; ils peuvent seulement permettre d'examiner l'impact d'un accord de libre-échange ou d'un changement dans les politiques agricoles sur les revenus des foyers agricoles les plus pauvres. Ainsi, ils utilisent également un agent représentatif pour les consommateurs, mais ils désagrègent généralement le secteur agricole ; le modèle CAPRI en particulier inclut 2000 types d'exploitations agricoles différentes en fonction du type de production (mais une large part sont des exploitations agricoles similaires simplement indicées pour les 250 régions du modèle).

Qu'il s'agisse des modèles d'équilibre général ou des modèles d'équilibre partiel, il faut rappeler que le calcul des gains à attendre du commerce international repose sur la notion de « surplus du consommateur ». Ce surplus est une mesure théorique du bien-être qui est formulée en unités monétaires (euros ou dollars) mais n'est pas directement rapportable au PIB. Par ailleurs, ces modèles ne sont généralement pas équipés pour rendre compte adéquatement de la croissance et du développement économique, car ils adoptent une perspective statique. Les conclusions qui en sont tirées en termes de croissance du PIB doivent donc être interprétées avec prudence.

---

<sup>55</sup> (Winters, et al., 2004).

Il est pourtant possible d'aller au-delà de la fiction de l'agent représentatif pour prendre en compte l'hétérogénéité des ménages, de leur richesse et de leur revenu, ainsi que l'impact à attendre d'un accord de libre-échange ou d'un changement de politique. L'approche la plus satisfaisante théoriquement serait de remplacer l'agent représentatif dans le modèle par un grand nombre d'agents représentant chacun une faible part de la population, mais elle s'avère infructueuse en pratique, car elle se heurte rapidement à des problèmes computationnels : le modèle devient impossible à résoudre par ordinateur en un temps raisonnable.

La solution la plus utilisée pour le moment est de recourir à une approche modulaire : les données sur la distribution des revenus et des richesses dans le pays sont intégrées au moyen d'un module de micro-simulation. Les valeurs obtenues dans le module de micro-simulation sont prises en compte dans le modèle d'équilibre général, et les résultats de celui-ci sont transférées en retour au module de micro-simulation ; le processus peut être réitéré autant de fois que souhaité. Cette approche a été mise en œuvre avec les modèles GTAP<sup>56</sup>, LINKAGE<sup>57</sup> et MIRAGE<sup>58</sup>. Avec cette approche modulaire, il est possible de modéliser jusqu'à plusieurs centaines de milliers de foyers. Cette approche permet de suivre le devenir des foyers les plus pauvres à la suite d'un changement économique, ce qui n'est pas le cas dans un modèle à agent représentatif<sup>59</sup>. Les simulations réalisées montrent des effets redistributifs importants, et un impact final ambigu sur la pauvreté, que les modèles standards ne peuvent pas capturer.

Malheureusement, cette approche requiert des quantités très importantes de données, et un important travail de retraitement et d'harmonisation des données. Le modèle Momagri suit donc une voie moyenne en la matière, avec une décomposition en deux foyers agricoles, ce qui permet de prendre en compte les principaux effets de redistribution tout en restant computationnellement raisonnable. Il reste ainsi en avance sur tous les modèles d'équilibre général qui recourent à un unique agent représentatif. Cette approche se justifie d'autant plus que le modèle Momagri est surtout mis en œuvre pour analyser l'impact des politiques agricoles et des accords internationaux de libre-échange sur la volatilité des prix agricoles. Le recours à un module de micro-simulation ne se justifie donc pas à ce stade d'un point de vue coûts-bénéfices eu égard aux objectifs assignés au modèle. A l'avenir, s'il est utilisé pour analyser les effets redistributifs des politiques agricoles et des accords de libre-échange, il sera utile d'approfondir cet aspect de la modélisation, ce qui sera d'autant plus facile que le modèle Momagri a d'ores et déjà une structure modulaire.

---

<sup>56</sup> (Chen & Ravallion, 2003) (Ferreira-Filho & Horridge, 2005).

<sup>57</sup> (Bussolo, et al., 2010)

<sup>58</sup> (Bouet, et al., 2013)

<sup>59</sup> (Bourguignon, et al., 2003).

## Critère 4 : Capacité d'innovation

---

Les politiques économiques et les accords internationaux de libre-échange ont un impact important sur la capacité d'innovation dans les secteurs considérés. En effet, importer ou délocaliser la production de ne serait-ce qu'une partie de la chaîne de valeur peut conduire à une perte de substance économique. L'innovation se nourrit de la proximité spatiale, qui permet les échanges d'idées et d'informations. Quant aux politiques économiques telles que la PAC, elles peuvent encourager les investissements, ou au contraire les décourager en suscitant de l'incertitude sur les revenus futurs. Le cadre réglementaire national et international a également un rôle crucial à jouer en la matière, en protégeant de façon appropriée l'innovation sans favoriser les stratégies de prédation (pensons notamment aux accords ADPIC et ADPIC+). Le risque est en définitive pour les pays concernés de devenir dépendants des innovations technologiques réalisées dans d'autres pays, en perdant de manière irréversible leur propre capacité d'innovation.

Malheureusement, l'innovation est, tout comme les phénomènes dynamiques déjà mentionnés, très mal prise en compte dans les modèles économiques. Il existe une abondante littérature théorique sur le rôle de la proximité (ce que les économistes appellent les « économies d'agglomération »), mais les résultats obtenus restent encore difficiles à transposer aux modèles appliqués. Quant aux modèles consacrés au commerce international, ils n'intègrent au mieux cette question que de façon très schématique. D'une part ils réduisent l'innovation à l'amélioration de la productivité, et d'autre part ils supposent fréquemment de manière arbitraire que l'ouverture au commerce international va automatiquement augmenter la productivité dans les secteurs concernés : « *[Un choc technologique dans un pays innovant va automatiquement générer un choc technologique dans le pays d'accueil]* »<sup>60</sup>. Cette approche est critiquable, comme le notent les auteurs du modèle MIRAGE, qui refusent de l'intégrer à leur modèle : « *[les études empiriques n'autorisent pas de conclusion définitive et robuste concernant l'existence de tels effets sur la croissance [...] Dans ce contexte, une approche prudente est nécessaire, de manière à éviter que les résultats ne dépendent massivement d'hypothèses douteuses (ou à tout le moins sans fondements sérieux). C'est pourquoi aucune externalité technologique liée au commerce n'est introduite dans MIRAGE]* »<sup>61</sup>.

À ce stade, la prise en compte de l'innovation doit donc passer par des indicateurs dédiés, tels que ceux développés par le Think Tank Momagri.

---

<sup>60</sup> (van Meijl & van Tongeren, 1999), traduction Momagri ; cf. (Hübler, 2011) et (Parrado & De Cian, 2014) pour des exemples plus récents.

<sup>61</sup> (Decreux & Valin, 2007), traduction Momagri.

## Critère 5 : Environnement et biodiversité

---

Outre la production de nourriture et de matières premières utilisées dans l'industrie, le secteur agricole joue un rôle important de préservation et de valorisation des espaces ruraux et plus généralement de l'environnement. Consommateur d'eau et d'hydrocarbures pour les engrais, et émetteur de gaz à effet de serre, le secteur agricole a également un rôle à jouer dans la lutte contre le changement climatique. En effet, réalisée de manière soutenable, la production agricole peut avoir un effet global favorable sur les émissions de gaz à effet de serre, en absorbant plus qu'elle n'en rejette. Il est donc impératif de pouvoir évaluer comment l'impact environnemental des activités agricoles est modifié par les politiques économiques et les accords de libre-échange mis en œuvre, notamment via la réallocation des terres arables. Ces évaluations sont d'autant plus indispensables que le « verdissement » de la PAC est l'un des objectifs affichés des réformes actuelles, et que la croissance importante de la production de biocarburants est susceptible de changer la donne en termes d'impact environnemental de l'agriculture en permettant de réduire la dépendance à l'égard des hydrocarbures. A l'inverse, il est également nécessaire d'anticiper les effets du changement climatique sur la production agricole, et en particulier sur les rendements à attendre et sur les adaptations à entreprendre.

La prise en compte de l'environnement a été l'un des principaux axes de développement des modèles économiques consacrés à l'agriculture pendant la dernière décennie, et d'importants progrès ont été réalisés en la matière. Cet intérêt soutenu pour les questions environnementales a été facilité par l'approche employée : au lieu de modifier les modèles économiques utilisés, ceux-ci sont le plus souvent couplés avec des modèles biophysiques permettant de déterminer les principaux impacts environnementaux, tels que les émissions de gaz à effet de serre, ou la réduction de la biodiversité. Il n'est donc pas nécessaire de revoir en profondeur l'architecture des modèles concernés, il suffit de prévoir une interface pour que ceux-ci puissent échanger les données nécessaires. Ceci implique également que n'importe quel modèle d'équilibre général ou partiel peut potentiellement être couplé avec un modèle biophysique, il n'est pas nécessaire que l'environnement ait été pris en compte au moment de la construction du modèle économique. Enfin, cette approche modulaire est facilitée par l'absence ou le caractère limité des boucles de feedback : les impacts environnementaux de l'agriculture ne sont pas suffisamment importants pour modifier directement les rendements agricoles, donc il suffit de calculer une seule fois les effets dans chaque direction (de l'agriculture à l'environnement et/ou inversement), ce qui limite la durée nécessaire aux simulations.

Cette approche a été mise en œuvre avec la plupart des principaux modèles consacrés à l'agriculture, que ce soit les modèles d'équilibre

général - GTAP<sup>62</sup>, LINKAGE<sup>63</sup> MIRAGE<sup>64</sup> - ou les modèles d'équilibre partiel - CAPRI<sup>65</sup>, ESIM<sup>66</sup> ou FAPRI<sup>67</sup>. Les principaux aspects environnementaux pris en compte sont l'utilisation des terres et de l'eau, ainsi que les émissions de gaz à effet de serre ; les impacts sur la biodiversité commencent à être intégrés, mais leur évaluation reste limitée par les limitations et la complexité des données sur le sujet<sup>68</sup>.

La modélisation des impacts environnementaux ne fait pas partie des objectifs prioritaires alloués au modèle Momagri ; le couplage du modèle avec un modèle biophysique n'a donc pas encore été réalisé, d'autant plus qu'il s'agit d'une démarche intensive en temps et en main-d'œuvre. Là encore, s'il s'avère nécessaire à l'avenir de réaliser un tel couplage, l'architecture modulaire du modèle Momagri sera un atout, qui facilitera le transfert des données avec le modèle biophysique.

## Critère 6 : Spécificités de l'agriculture

---

Le secteur agricole présente des particularités uniques qui le différencient de tous les autres secteurs de l'économie. Tout d'abord, la production s'inscrit dans un temps relativement long et surtout incompressible : il n'est pas possible d'ajuster en cours de campagne ou après coup les quantités produites. L'offre est donc quasiment fixée à court terme. L'existence de coûts fixes élevés contribue également à renforcer l'insensibilité de l'offre aux prix.

C'est aussi le cas de la demande : les consommateurs peuvent substituer les produits alimentaires entre eux, mais ils ne peuvent réduire que de façon limitée leur apport calorique total, même si les prix sont élevés ; inversement, même si les prix sont faibles, la demande pour les produits agricoles n'augmente que faiblement. Enfin, comme nous l'avons vu, la production agricole est hautement incertaine, du fait de l'aléa climatique.

La conjonction de ces trois facteurs a deux conséquences essentielles pour le fonctionnement des marchés agricoles :

- premièrement, les ajustements entre offre et demande se font principalement par le biais de changements en termes de prix et non de quantités, ce qui implique une forte volatilité des prix agricoles (cf. Critère 2, ci-dessus) ;

---

<sup>62</sup> (Plevin, et al., 2014) ainsi que (Calzadilla, et al., 2011) pour l'utilisation de l'eau, et (Reidsma, et al., 2006) pour les impacts sur la biodiversité.

<sup>63</sup> via sa variante ENVISAGE (Bussolo, et al., 2008).

<sup>64</sup> (Al-Riffai, et al., 2010).

<sup>65</sup> (Witzke, et al., 2014) (Was, et al., 2014).

<sup>66</sup> (Galko & Jayet, 2011).

<sup>67</sup> (Dumortier & alii, 2010).

<sup>68</sup> (Eppink & van den Bergh, 2007).

- deuxièmement, les ajustements de quantité ne se font généralement pas au moyen de changements dans les quantités produites mais par divers ajustements de la demande et une augmentation ou diminution des stocks (cf. section suivante).

Par ailleurs, le secteur agricole est relativement isolé du reste de l'économie car il utilise des facteurs de production spécifiques : les terres agricoles n'ont quasiment pas d'usages alternatifs en dehors de l'agriculture, et les travailleurs sont moins mobiles entre l'agriculture et l'industrie qu'entre secteurs industriels, car leurs compétences sont difficilement transférables. Ceci implique que les modifications du niveau d'activité dans le secteur agricole se répercutent principalement sur le prix des facteurs de production (prix des terres et rémunération des employés) ; les transferts de travailleurs ou de terres vers d'autres secteurs d'activité économique sont limités.

Pour parvenir à une compréhension adéquate des marchés agricoles, il est donc essentiel de prendre en compte les spécificités de l'agriculture, que ce soit les élasticités de l'offre et de la demande, ou, sur le plan structurel, la durée du processus de production.

Dans ce domaine, les modèles d'équilibre général restent moins avancés que les modèles d'équilibre partiel, qui par définition prennent mieux en compte les particularités sectorielles. L'agriculture a longtemps été le parent pauvre des modèles d'équilibre général, qui ont généralement été construits autour des propriétés des secteurs industriels. Aussi bien la structure des modèles que les paramètres d'élasticité étaient définis par référence aux secteurs industriels. Aujourd'hui, dans la plupart des modèles, les élasticités de substitutions correspondantes ont été ajustées, aussi bien pour les facteurs de production que pour les consommateurs. Les modèles d'équilibre général ont ainsi partiellement comblé le retard qu'ils avaient sur les modèles d'équilibre partiel. Ceux-ci ont en effet toujours accordé plus d'importance aux spécificités du secteur agricole, avec des valeurs mieux estimées pour les principaux paramètres des modèles.

Néanmoins, aussi bien les modèles d'équilibre général que les modèles d'équilibre partiel continuent de faire l'impasse sur les spécificités structurelles de l'agriculture, telles que les délais et l'incertitude dans la production. Tous les modèles utilisés politiquement et la majeure partie des modèles académiques font, souvent implicitement, l'hypothèse que les quantités produites et les prix de vente sont déterminés simultanément : les producteurs disposent d'une information parfaite sur les prix en vigueur et ajustent immédiatement en conséquence les quantités produites. L'une des principales raisons à cette non prise en compte des spécificités structurelles de l'agriculture est la décision de préserver l'homogénéité du modèle en ayant des équations similaires dans tous les secteurs, et le fait que la prise en compte des délais de production et de l'incertitude

nécessiterait d'intégrer la psychologie des acteurs économiques et leurs anticipations relatives à l'avenir.

Le modèle Momagri est donc le seul, avec les deux modèles académiques mentionnés précédemment, à savoir le modèle de Féménia et le modèle ID3, à intégrer les spécificités de l'agriculture que sont les délais et l'incertitude dans la production, et par conséquent la rigidité de l'offre à court terme.

## Critère 7 : Stocks agricoles

---

Parmi les spécificités du secteur agricole, les stocks méritent un traitement particulier. En effet, ils sont à la jonction de l'économie politique et de la finance, puisque le stockage est effectué à la fois par des acteurs publics dans une perspective de stabilisation des marchés et par des acteurs privés dans une perspective spéculative de recherche de profit. Par ailleurs, comme on l'a vu, la production agricole n'est que très faiblement élastique, puisqu'elle est largement déterminée à l'avance ; dans ces conditions, l'existence des stocks et leur ajustement régulier en fonction des conditions de marché est le seul moyen d'éviter que l'équilibre entre offre et demande ne se fasse entièrement par un ajustement des prix, qui conduirait à une volatilité excessive sur les marchés agricoles<sup>69</sup>. Qui plus est, les stocks publics constituent l'un des outils majeurs de l'action publique sur les marchés agricoles dans un certain nombre de pays ; il est donc essentiel de rendre compte de ces stocks et de leur loi d'évolution pour comprendre adéquatement la dynamique des marchés agricoles. En particulier, stockage public et stockage privé sont partiellement substituables, donc il faut prendre en compte leur dynamique commune ; dans le cas américain, lors de la suppression du stockage public en 1996, le stockage privé s'y est partiellement substitué<sup>70</sup> et il serait donc erroné de conclure que le stockage public ne jouait aucun rôle.

Pourtant, comme les autres spécificités du secteur agricole, les stocks ne sont pas ou mal intégrés dans les modèles d'équilibre général. Aucun des modèles utilisés politiquement n'intègre le stockage. Plusieurs modèles académiques l'intègrent, mais d'une manière limitée. Ainsi, un article académique réalisé à partir du modèle GTAP<sup>71</sup> intègre le stockage dans celui-ci mais en préservant l'hypothèse d'information parfaite et avec une loi d'évolution des stocks entièrement mécanique. Plusieurs articles réalisés par Féménia à partir de son modèle intègrent le stockage<sup>72</sup>, mais

---

<sup>69</sup> (Williams & Wright, 1991).

<sup>70</sup> (Lence & Hayes, 2002)

<sup>71</sup> (Hertel, et al., 2005).

<sup>72</sup> (Femenia, 2010) (Féménia, 2012).

les résultats obtenus apparaissent encore limités, puisque seule l'évolution du stockage privé est prise en compte dans les deux articles. De même, le modèle ID3 intègre le stockage dans une de ses dernières moutures<sup>73</sup>, mais uniquement le stockage public lié à un mécanisme de prix garanti. Aucun de ces modèles n'examine donc l'interaction entre le stockage privé et le stockage public.

En ce qui concerne les modèles d'équilibre partiel, tous ceux qui sont examinés dans ce rapport intègrent le stockage, mais seulement de façon implicite : la loi d'évolution des stocks est estimée de manière économétrique comme une fonction mécanique des prix de marché, au lieu de résulter d'un comportement d'optimisation explicite. Ces modèles présentent donc des stocks, mais sans qu'aucun acteur ne soit en charge du stockage, ou n'ait à en supporter les coûts.

Le modèle Momagri est, à notre connaissance, le seul à prendre en compte de manière appropriée le stockage, en intégrant à la fois le stockage public et le stockage privé tout en distinguant entre les deux, et en modélisant explicitement les règles d'évolution des stocks : les acteurs publics cherchent à stabiliser les prix tandis que les acteurs privés cherchent à maximiser leur profit.

## Pistes de développement

---

Les trois premières sections de ce rapport ont permis d'établir un état des lieux des principaux modèles économiques utilisés pour analyser le secteur agricole, les accords de libre-échange internationaux et les politiques agricoles. Comme nous l'avons vu, les principaux modèles utilisés, qu'ils soient d'équilibre général ou partiel, ne rendent compte que très imparfaitement de la réalité qu'ils cherchent à modéliser. Malgré leur complexité et la richesse des données qu'ils utilisent, ils recourent à des hypothèses simplificatrices qui viennent obérer de façon importante la fiabilité des résultats.

Ceci étant, il serait trompeur de se limiter à une vision statique de ce domaine de recherche. D'importants progrès ont été réalisés pendant les dix dernières années, rendus possibles par l'amélioration des données et des technologies disponibles, et les modèles sont en constante évolution. Dans la présente section, nous allons donc passer en revue trois des principales innovations en cours susceptibles de modifier la donne à court et moyen terme, à savoir :

- les modèles modulaires ou couplés,
- les modèles d'équilibre général dynamiques stochastiques,
- Les modèles de programmation mathématique.

---

<sup>73</sup> (Gérard, et al., 2007).



Nous concluons cette section par une description des innovations récentes et en cours du modèle Momagri.

## Les modèles modulaires et les modèles couplés

---

Comme nous l'avons vu à propos des questions environnementales et de la prise en compte de la pauvreté, l'analyse de phénomènes complexes peut être facilitée par le recours à une approche modulaire : les équations incluses dans le module sont résolues séparément, et seul le résultat final du module est « passé » au reste du modèle, et vice-versa. A titre d'exemple au-delà du modèle Momagri, le modèle MAGNET intégré à la plateforme iMAP du JRC (Commission Européenne) adopte une approche modulaire autour d'un « cœur » très proche du modèle GTAP standard ; de même, une version du modèle CAPRI a été développée avec un module consacré aux émissions de gaz à effet de serre<sup>74</sup>.

A l'extrême, cette approche peut être utilisée pour coupler deux modèles qui ont été développés de façon distincte. L'avantage est de réduire de façon importante le nombre de calculs à réaliser sans sacrifier la puissance de modélisation. Cette approche tend aujourd'hui à se répandre pour les questions environnementales<sup>75</sup> et de pauvreté et de redistribution. Un type d'application prometteur est le couplage entre modèles d'équilibre général et modèles d'équilibre partiel, qui permet de mieux prendre en compte les spécificités sectorielles tout en intégrant les effets indirects qui se propagent dans le reste de l'économie. Cette approche est notamment au cœur du projet de plateforme iMAP, qui couple modèles d'équilibre général et partiel en fonction des besoins<sup>76</sup> ; elle a également été utilisée avec le modèle GTAP<sup>77</sup>, mais l'antériorité de l'innovation revient ici au modèle Momagri (première version en 2007-2008).

Par ailleurs, le recours à une approche modulaire peut permettre une modélisation plus fine des comportements individuels, en particulier face au risque. En la matière, le modèle Momagri reste en pointe avec son module « risque » qui permet entre autres une meilleure prise en compte des comportements face au risque des divers acteurs. À ce jour, il est le seul modèle économique consacré à l'agriculture à atteindre ce niveau de précision dans la prise en compte des comportements en information imparfaite. Les autres modèles qui intègrent les comportements en information imparfaite (Féménia et ID<sup>3</sup>) le font directement dans le corps du modèle, ce qui contraint de façon importante

---

<sup>74</sup> (Pérez Dominguez, et al., 2010)

<sup>75</sup> Par exemple l'intégration d'un module « eau » dans le modèle IMPACT.

<sup>76</sup> (Burrell & alii., 2011).

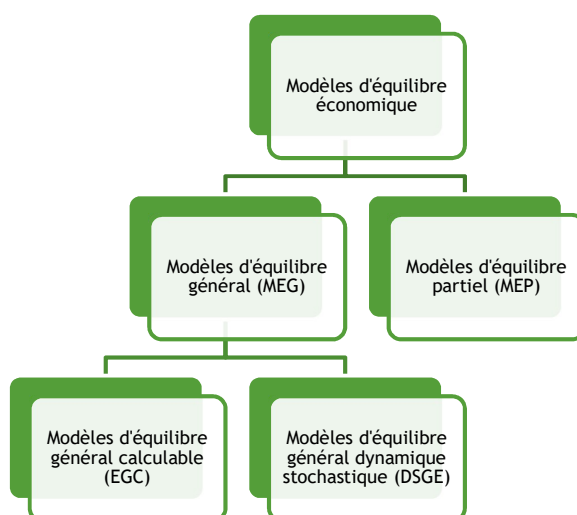
<sup>77</sup> cf. (Narayanan, et al., 2010) pour un exemple d'application au secteur automobile indien.

la modélisation. Il faut donc espérer que l'approche innovante initiée par Momagri sera plus largement reprise à l'avenir.

## Les modèles d'équilibre général dynamique stochastique (DSGE)

Les modèles d'équilibre général (MEG) constituent la clé de voûte et l'aboutissement de la science économique. Ils sont utilisés dans la plupart des champs de la science économique, mais avec d'importantes différences entre champs.

Les modèles d'équilibre général dits calculables (EGC) tels que ceux que nous avons analysés dans ce rapport sont dominants dans l'étude du commerce international et des problématiques associées, mais dans le reste de la macroéconomie contemporaine, ce sont les modèles d'équilibre général dynamique stochastique (DSGE, pour *Dynamic Stochastic General Equilibrium*) qui dominent. Ces derniers sont notamment utilisés de façon intensive dans les principales banques centrales dans le monde, ainsi que dans le monde académique<sup>78</sup>.



1. La catégorisation des modèles économiques

Les modèles DSGE reposent sur la même approche fondamentale que les modèles EGC, au sens où ils s'efforcent de représenter l'économie d'un pays de manière globale, avec un agent représentatif pour les consommateurs et un pour les entreprises. Mais ces deux types de modèles diffèrent quant aux aspects de la modélisation jugés essentiels. Les modèles EGC accordent une grande importance à la décomposition par secteur, avec souvent plusieurs dizaines de secteurs différents pris en compte, alors que les modèles DSGE n'incluent généralement qu'un seul secteur agrégeant la production de l'économie dans son ensemble. A l'inverse, les modèles DSGE accordent une grande attention à la modélisation du comportement des acteurs économiques, et en particulier à leurs anticipations et à leurs stratégies de consommation, d'épargne et

<sup>78</sup> Le plus utilisé des modèles est celui de (Smets & Wouters, 2007).

d'investissement, alors que comme on l'a vu, ces aspects ne sont pris en compte que de manière fruste, voire entièrement négligés dans les modèles EGC. Cette modélisation peut être d'autant plus complexe dans les modèles DSGE que dans un grand nombre de cas, ceux-ci ne sont pas utilisés en conjonction avec des données empiriques mais uniquement de façon théorique.

Ces différences tiennent aux usages qui sont faits des modèles : les modèles EGC, de même que les modèles d'équilibre partiels étudiés précédemment, sont utilisés pour les projections à moyen et long terme ; les modèles DSGE, quand ils sont calibrés sur des données empiriques, sont utilisés pour l'analyse des fluctuations de l'économie à court et moyen terme. Les modèles DSGE actuellement utilisés, qualifiés de « néo-keynésiens », intègrent ainsi un certain nombre de rigidités et d'imperfections de marché, et étudient leur impact sur les évolutions des prix et des salaires. Ils sont donc appropriés pour l'analyse de la volatilité des variables économiques telles que les prix et salaires, ainsi que pour l'analyse de la réaction de ces variables économiques à des chocs aléatoires<sup>79</sup>.

À ce jour, les applications des modèles DSGE à l'agriculture sont très limitées, puisque ces modèles ne prennent généralement pas en compte les spécificités sectorielles, à la différence de la majeure partie des modèles EGC. Mais un mouvement de rapprochement est aujourd'hui à l'œuvre, avec le développement de « grands » modèles DSGE, avec un découpage plus fin par secteurs<sup>80</sup>. Ces modèles rendent mieux compte du fonctionnement de l'économie car ils intègrent la structure des transactions entre secteurs (le secteur automobile consomme de l'acier, et ainsi de suite) ; pour ce faire, ils reprennent les tables input-output qui sont à la base des modèles EGC. Ces nouveaux modèles sont encore loin d'atteindre le niveau de désagrégation sectorielle des modèles EGC, et ils sont pour l'instant limités à un seul pays à la fois, là où les modèles EGC peuvent permettre la modélisation d'un plus grand nombre de pays ou de zones dans le monde, mais avec l'augmentation des capacités computationnelles des ordinateurs, il n'existe pas de limites théoriques *a priori* à une convergence à moyen terme.

À plus court terme, il est théoriquement déjà possible de développer un modèle DSGE prenant mieux en compte les spécificités de l'agriculture dans un pays, avec une économie à deux ou trois secteurs, l'un d'entre eux représentant l'agriculture dans son ensemble. Un tel modèle pourrait potentiellement être utilisé pour analyser les fluctuations des prix dans le

---

<sup>79</sup> (Figiel & Hamulczuk, 2010).

<sup>80</sup> Par exemple, (Bouakez, et al., 2009) construit un modèle avec 6 secteurs pour les Etats-Unis, et (Bukowski & Kowal, 2010) un modèle avec 11 secteurs pour la Pologne.

secteur agricole, mais il ne permettrait pas d'étudier les conséquences des accords commerciaux internationaux comme le permet aujourd'hui le modèle Momagri. Les modèles DSGE ne représentent donc pas à ce jour une alternative viable à la stratégie de modélisation mise en œuvre dans le modèle Momagri ; ils peuvent cependant fournir des idées de pistes de développement pour ce dernier, notamment en ce qui concerne la prise en compte du risque et des anticipations des acteurs économiques<sup>81</sup>.

## Les modèles de programmation mathématique

---

Au sein des modèles consacrés à l'agriculture, les modèles dits de programmation mathématique (à ne pas confondre avec la programmation informatique) représentent une catégorie à part, même si certains d'entre eux sont conceptuellement équivalents à des modèles d'équilibre partiel.

En effet, les modèles que nous avons vus jusqu'ici, à savoir les modèles d'équilibre, qu'il soit partiel ou général, reposent sur la modélisation de l'équilibre entre l'offre et la demande. Ils analysent donc de façon détaillée les interactions entre les deux côtés du marché, et les comportements de la part des consommateurs. Les modèles de programmation mathématique adoptent une philosophie de modélisation radicalement différente : ils font l'hypothèse d'un planificateur central en charge de la production. Dans certains modèles (ex. : AROPAj de l'INRA<sup>82</sup>), le planificateur maximise le profit des producteurs à prix agricoles donnés et fixes ; dans d'autres modèles (ex. : EUFASOM<sup>83</sup>, IMPACT de l'IFPRI<sup>84</sup>, GLOBIOM<sup>85</sup>) le planificateur maximise le bien-être joint des producteurs et des consommateurs. Cette seconde option est théoriquement plus complète et plus satisfaisante, sous réserve de la manière retenue pour calculer le bien-être joint, mais elle est sensiblement plus exigeante sur le plan computationnel, et requiert des simplifications supplémentaires pour que le modèle puisse être résolu par ordinateur ; dans ce cas, le modèle devient conceptuellement équivalent à un modèle d'équilibre partiel avec certaines hypothèses spécifiques.

Ces modèles font appel à une branche des mathématiques différente de celle utilisée par les modèles d'équilibre ; à ce titre, ils offrent des avantages et inconvénients qui diffèrent largement :

- Ils n'admettent généralement que des technologies de production linéaires (rendements d'échelle constants) et ne rendent compte que partiellement des possibilités de

---

<sup>81</sup> Par exemple, (Hertel, et al., 2005) reprend les méthodes de calibration des modèles DSGE pour intégrer le stockage dans le modèle GTAP.

<sup>82</sup> (Jayet & al., 2015).

<sup>83</sup> (Schneider & al., 2008).

<sup>84</sup> (Rosegrant & al., 2012).

<sup>85</sup> (Havlik & al., 2011).

substitution entre facteurs de production (terre, travail, capital et intrants) ;

- De même, ils n'admettent que des fonctions de demande linéaire de la part des consommateurs ;
- Ils peuvent intégrer plusieurs millions d'équations et de variables, contre quelques dizaines de milliers dans les modèles d'équilibre, ce qui permet une représentation beaucoup plus riche des contraintes réglementaires et des comportements des producteurs ; ceci explique notamment l'intégration d'un modèle de programmation mathématique comme module consacré à la production dans le modèle CAPRI ;
- Ils requièrent une quantité beaucoup plus faible de données, puisqu'ils peuvent généralement être calibrés sur une seule année, alors que les modèles d'équilibre requièrent des séries temporelles relativement longues pour pouvoir être calibrés de façon satisfaisante.

Ces avantages et inconvénients ne sont pas figés : depuis le développement de nouveaux outils mathématiques<sup>86</sup> à la fin des années 1990, les modèles de programmation mathématique peuvent désormais traiter de façon plus satisfaisante les équations non-linéaires. Ceci permet de les utiliser à une échelle plus élevée (au niveau régional, national ou communautaire) et pas seulement à l'échelle de l'exploitation agricole. Etant donné leur capacité à traiter un très grand nombre d'équations, ces modèles sont susceptibles d'être plus utilisés à l'avenir, en particulier couplés avec d'autres modèles comme dans le cas du modèle CAPRI.

Néanmoins, en ce qui concerne les critères d'analyse mis en avant dans le présent rapport, les modèles de programmation mathématique sont globalement plus sommaires et moins avancés que les modèles d'équilibre. La principale exception est le critère 2 (risque et anticipations), pour lequel la situation est complexe. D'un côté, le recours aux outils de l'optimisation stochastique permet une prise en compte du risque sur les rendements agricoles sensiblement plus détaillée que dans les modèles d'équilibre, avec des producteurs qui doivent prendre leurs décisions de production sans connaître les rendements futurs<sup>87</sup>, bien que la source du risque soit toujours posée comme exogène, d'une part ; et bien que le traitement du risque reste tout-à-fait standard et dérivé d'une vision trop étroitement technique d'autre part. D'un autre côté, la volatilité des prix est entièrement absente de ces modèles : soit les prix sont considérés comme donnés une fois pour toute et fixes, soit ils sont calculés de manière résiduelle comme des coûts d'opportunité.

---

<sup>86</sup> Les algorithmes de programmation mathématique positive (cf. (Howitt, 1995)).

<sup>87</sup> Voir (Fuss, et al., 2011) pour un exemple avec le modèle GLOBIOM.

Les modèles de programmation mathématique représentent donc une philosophie de modélisation intéressante, avec des avantages et des inconvénients distincts de ceux des modèles d'équilibre. Pour autant, leur focalisation sur les processus physiques de production au détriment des mécanismes de marché les rend impropres à l'analyse de la volatilité des prix agricoles ; à ce titre, ils ne représentent pas une alternative viable au modèle Momagri, mais ils peuvent suggérer des pistes de développement pour approfondir la modélisation des comportements des producteurs dans le modèle Momagri.

## L'évolution du modèle Momagri et son positionnement relatif

---

Le projet d'un modèle *Momagri* est né en 2005 de la rencontre entre des coopératives agricoles inquiètes de négociations internationales à venir et de la suggestion qui leur fut faite de lancer, parmi d'autres actions, un travail d'élaboration d'un modèle qui explicite leurs préoccupations. Celles-ci touchaient à la fois à une meilleure prise en compte des spécificités du secteur de l'agriculture et à l'attention qui devrait être portée à la volatilité des cours des grands produits agricoles. Dès lors, l'objectif de la modélisation *Momagri* était fixé et on ne s'étonnera pas que l'on trouve là les aspects forts du modèle.

Commencer par un bilan critique des modèles existants en fin 2005 était une étape obligée de toute réflexion scientifique. Pour autant, un tel bilan ne peut définir « en creux » les objectifs du modèle à construire, qui étaient et sont restés ceux des commanditaires, avec lesquels on se félicite que nombre de séances de travail aient pu avoir lieu dans les premières années. Ces séances ont beaucoup appris aux auteurs du modèle.

On rend compte du modèle Momagri ci-dessous en 2 temps :

- A. La structure et la conception d'ensemble du modèle
- B. L'analyse selon les 7 critères évoqués dans ce « banc d'essai », le rôle clé du module risque

En conclusion, on donnera alors un bref aperçu des tests du modèle, une évaluation d'ensemble et on essaiera de dégager quelques perspectives pour l'avenir.

Il convient en effet d'analyser le modèle Momagri comme on le fait dans ce « nouveau banc d'essai » de tous les autres modèles économiques relatifs à l'agriculture, et donc de l'examiner à l'aune des mêmes sept critères. Mais il convient aussi de le confronter à ses promesses et de relever à leur égard la cohérence des simulations permises par le modèle avec l'observation, seul véritable critère de la scientificité d'un modèle, quel qu'il soit.

## La structure et le type du modèle

---

Le cadre d'un modèle d'Equilibre Général Calculable (EGC) a été choisi d'emblée par cohérence avec l'objectif assigné à la recherche de mettre en exergue la spécificité de l'activité agricole en contraste avec les *autres* secteurs, mais aussi par discipline scientifique, empêchant d'explorer des états de l'économie mondiale qui seraient incompatibles avec le reste de l'activité économique ou absurdes du point de vue de la collectivité.

Il faut souligner que ce choix a été ambitieux, car la modélisation devait être mondiale pour correspondre à la préoccupation des coopératives donneuses d'ordre, cette préoccupation renvoyant en effet aux négociations internationales. Plus précisément, il s'agissait d'évaluer la pertinence de la référence régulière au modèle de la banque mondiale mis alors en avant dans ces négociations. Or, à l'époque, seuls trois modèles d'EGC - dont celui qui vient d'être cité - se situaient au niveau mondial. La plupart ne considéraient qu'un seul pays, comme d'ailleurs les modèles - plus récents - d'équilibre général stochastique dynamique (DSGE).

Dans ses versions les plus récentes, le modèle Momagri comporte ainsi 12 zones modélisées<sup>88</sup> et 20 secteurs d'activité dont 9 apparaissent au titre du « module Risque », parmi lesquels 7 secteurs agricoles<sup>89</sup>, l'agroalimentaire étant traitée avec les diverses industries et services, dans le « module central ».

Pour pouvoir affronter ce défi d'un modèle mondial d'EGC, qui puisse en outre rendre compte de la volatilité des cours de façon réaliste, on a recouru à une architecture modulaire, dans un sens plus fort que celui habituellement donné à cette expression. Il ne s'agit en effet pas seulement de coupler un module avec un autre module comportant des variables complètement étrangères à celles que contient le premier, mais de coupler deux ou plusieurs modules dont au moins un contient des variables communes avec le module central, mais examinées sous un autre angle. En particulier, le module risque<sup>90</sup> contient des variables de production, consommation et prix à la production que l'on retrouve dans

---

<sup>88</sup> Les douze zones retenues sont : 1. ALENA (Etats-Unis, Canada, Mexique), 2. MERCOSUR (Chili, Colombie, Pérou, Equateur, Bolivie, Costa-Rica, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panama), 3. UE à 27, 4. Chine, 5. Inde, 7. Afrique Sub Saharienne, 8. Russie, 9 Moyen-Orient et Afrique du Nord, 10. Reste de l'Asie, 11. Océanie 12. Reste du Monde.

<sup>89</sup> Les 20 secteurs sont : 1. Céréales, 2. Légumes et fruits, 3. Oléagineux, 4. Fibres, 5. Bétail et élevage, 6. Riz, 7. Sucre, 8. Mines et minerais, 9. Métaux, 10. Autre agriculture, 11. Autres mines et minerais, 12. Agroalimentaire Viande et Lait, 13. Agroalimentaire du riz et du sucre, 14. Agroalimentaire des boissons et autres nourritures, 15. Textiles et habillement, 16. Bois, papier et produits chimiques, 17. Moteurs, Transports, Electronique et Machines, 18. Pétrole, gaz et eau (distrib.), 19. Services marchands, 20. Services non marchands.

<sup>90</sup> Pour une présentation détaillée du module risque voir Munier, 2010.

le module central, mais qui sont combinées dans le module risque selon d'autres équations, donc analysées sous un autre angle. Bien entendu, la cohérence entre les deux modules doit être assurée du point de vue des données de l'année de départ, qui permettent de « caler » un modèle d'EGC en supposant que l'année de référence est une année proche de l'équilibre économique.

L'essentiel de ce qui a été réalisé se compose des deux modules, module central et module risque. Le module central, dont on parlera un peu moins dans la suite, a beaucoup évolué depuis le début. Il se compose - assez classiquement, si l'on considère chaque zone du monde prise séparément - d'un bloc (i) production et demandes de facteurs dérivées, d'un bloc (ii) formation des revenus, consommation et épargne, d'un bloc (iii) fiscalité, d'un bloc (iv) commerce extérieur, d'un bloc (v) prix-salaires, d'un bloc (vi) stockage et d'un bloc (vii) équations de fermeture. Le modèle considère comme facteurs de production les terres cultivées, le capital, le travail qualifié et le travail non qualifié.

Les évolutions du module central ont principalement concerné :

- le bloc production (introduction de fonctions CES en remplacement de fonctions Cobb-Douglas initialement utilisées),
- le bloc échanges internationaux (fonctions CES-Elasticités Armington et fonctions CET pour les exportations),
- le bloc stockage (cf. critère 7 ci-dessous),
- ainsi que l'architecture informatique d'ensemble.

Les spécificités de l'agriculture ne se limitent pas, dans le modèle Momagri, à celle des élasticités de demande - que l'on a extraites des données empiriques fournies par GTAP. Elles concernent aussi la microstructure des marchés agricoles et l'introduction dans la modélisation des « middlemen » que sont les investisseurs à court terme, l'hétérogénéité des acteurs, l'irréversibilité des décisions de production, les anticipations, l'attitude par rapport au risque, le couplage aux évolutions de marché de ces diverses attitudes par rapport au risque et finalement l'hétérogénéité des types de risques à affronter.

On se bornera ici à indiquer que la clôture des marchés ne se fait pas de la même façon dans le module risque - où elle intervient via les prix, de façon Keynésienne - et dans le module central - où elle se fait de façon néo-classique Walrassienne, via les quantités. On ajoutera simplement que ce qui précède confère au modèle Momagri des caractéristiques que l'on peut rapprocher de celles des modèles DSGE plus récents puisque le comportement des acteurs est analysé de façon fine - mais avec des préoccupations autres que celles de l'épargne et des comportements monétaires.

On retiendra enfin que, par rapport au modèle ID3 cité dans ce rapport, l'explication donnée de la volatilité des prix est différente : alors que pour



le modèle ID3, cette volatilité tient aux prises de décision des producteurs face au risque, le modèle Momagri la relie à la fois à ces décisions comme au risque naturel mais aussi et surtout à la financiarisation des marchés de matières premières (notamment agricoles) autorisée - encouragée ? - par le *Commodity Futures Modernization Act* de 2000. Cette législation, passée à la hâte et au forceps en fin de mandat gouvernemental américain avec le soutien de Bill Clinton et de Larry Summers<sup>91</sup>, était revenue sur les compétences attribuées à la CFTC en 1936 par le *Commodity Exchange Act* pour réguler l'accès aux marchés de matières premières (notamment agricoles) au motif que les marchés OTC iraient se localiser à l'étranger si on ne desserrait pas les contraintes réglementaires du *Commodity Exchange Act*. Il est aujourd'hui reconnu qu'elle avait ainsi fortement encouragé la financiarisation de ces marchés et qu'elle a favorisé l'éclatement de la crise. Elle a été abrogée par le *Dodd-Frank Act* de 2009. D'autres dispositions réglementaires intervenues à la suite de cet important revirement de législation - dont MIFID II en Europe, qui va maintenant réguler *aussi* les entités de *trading* sur les matières premières, entre autres agricoles, certaines ayant racheté les activités abandonnées par les banques dans le domaine - en ont renforcé la portée. On constate aujourd'hui que la volatilité<sup>92</sup> des prix des matières premières s'est fortement estompée depuis la fin de 2012, ce qui tend à montrer que les fondements de l'analyse Momagri sont corrects<sup>93</sup> et leur donne raison par rapport à ID3.

On aborde maintenant l'analyse par critère du modèle Momagri, comme il a été fait ci-dessus pour les autres modèles.

## L'analyse par critère du modèle Momagri et le rôle clé du module « risque »

---

### Critère 1 : dépendance-irréversibilité.

---

Il faut ici dresser un constat de carence concernant le 1<sup>er</sup> critère, la dépendance et l'irréversibilité. Le modèle construit est déjà très complexe, de niveau mondial, comportant nombre de relations non linéaires et des interdépendances très délicates à traiter du point de vue informatique. Il est apparu que le souhait d'intégrer le *très long* terme

---

<sup>91</sup> Qui en ont, à la suite de la crise de 2007-2008, rejeté la responsabilité sur l' « entêtement » de Alan Greenspan, de façon assez peu crédible.

<sup>92</sup> On a parfois confondu (p.ex. de Schuytter, Rapporteur Spécial des Nations-Unies sur la crise alimentaire) *haut niveau* des prix et *volatilité* des prix. Il est vrai que l'un et l'autre ont semblé corrélés du fait de l'intervention d'autres facteurs (notamment les politiques gouvernementales chinoises puis la crise chinoise), mais l'analyse Momagri a bien opéré la distinction. L'indice implicite de volatilité de Merrill Lynch est tombé de 250 (2008) à 50 (2015). Mais ce n'est pas fini.

<sup>93</sup> Divers articles du *Financial Times* en témoignent maintenant, notamment ceux d'Isabelle Kaminska, de Emiko Terazono et de Philip Stafford, de Martin Sandbu, Tracy Alloway, Michel MacKenzie, etc.

dans le modèle en recourant à l'idée de générations multiples ou imbriquées, était profondément irréaliste et aurait nécessité un nombre de variables qui aurait rendu le modèle illisible - et sans doute inutilisable. Tout modèle scientifique doit rester une simplification exploitable de la réalité, simplification qui doit intervenir en raison des objectifs visés. Le modèle Momagri est donc un modèle de simulation de court-moyen terme (2 à 10 ans environ).

### Critère 2 : Le monde du risque et la psychologie des acteurs

---

Le risque est abordé de trois façons différentes dans le modèle : il y a l'irréversibilité des décisions de mise en culture, qui implique des anticipations des conditions de mise en vente de la récolte future, il y a une attitude par rapport au risque personnelle de l'agriculteur, enfin il y a un plus ou moins grand pessimisme/optimisme de ce même agriculteur. Les théories du risque les plus récentes (ayant pour origine Maurice Allais, John Quiggin, puis Amos Tversky et bien d'autres) sont mobilisées dans le modèle.

Naturellement, le risque naturel portant sur les rendements est à l'œuvre comme il se doit, et ceci de façon différenciée selon les diverses « zones » dans le monde.

Enfin, les anticipations des investisseurs à court terme - catégorie d'acteurs explicitement modélisée dans le cadre Momagri - sont différenciées selon deux catégories d'intervenants de ce type (fondamentalistes, naïfs). Mais leur attitude par rapport au risque est celle de la neutralité : ces acteurs ne mesurent leur réussite qu'au montant monétaire de leurs profits.

Surtout, dans le cas des producteurs comme dans celui des investisseurs de court terme, les anticipations - ajustées selon l'attitude par rapport au risque dans le cas des producteurs - sont couplées aux situations de marché dont on a fait l'expérience dans le passé récent. On rend ainsi compte d'une dynamique de l'activité des marchés agricoles qui reflète plus fidèlement que la mécanique Walrassienne l'expérience vécue des paysans.

### Critère 3 : Lutte contre la pauvreté

---

Le module central du modèle Momagri comporte une modélisation minimale du chômage sur chacun des marchés du travail - qualifié, non qualifié - à l'intérieur de chaque zone dans le monde. Par ailleurs, la répartition des revenus n'est pas étudiée de façon complète, mais elle l'est à travers la distinction entre revenus des ménages vivant de l'agriculture et ceux des ménages vivant d'autre chose que de l'activité agricole. On estime que, dans les pays encore au-dessous du seuil d'émergence, cette distinction donne une idée au moins relative de la pauvreté.

#### Critère 4 : Capacité d'innovation

---

Le module innovation a fait l'objet de travaux sérieux et déjà avancés, qui ont au moins permis de rédiger des notes (dont une à Christine Lagarde, alors Ministre du Commerce Extérieur, au moment des négociations de Hong-Kong) sur l'importance des régimes de propriété intellectuelle pour favoriser ou non l'éclosion d'innovations (accords ADPIC, accords bilatéraux ou dits hypocritement « ADPIC+ »).

Mais on n'a pas tenté jusqu'ici de coupler le module ainsi avancé et modélisé au module central. La raison tient à la difficulté de coupler les périodicités des deux modules.

#### Critère 5 : Environnement et biodiversité

---

L'expérience a montré que la mise en exergue de la volatilité des prix est très difficile à concilier avec les effets à long terme sur l'environnement. Pour des raisons scientifiques, il a été fait le choix de ne pas faire entrer cette question - par ailleurs respectable - dans un modèle destiné à traiter de tout autres problèmes. Le choix scientifique est le même que pour le critère 1.

#### Critère 6 : Spécificités de l'agriculture

---

Le modèle Momagri en tient compte à travers le monde du risque tel qu'on l'a déjà décrit à propos du critère n°2 ci-dessus. Mais il en rend compte également à travers la prise en compte de divers type de marchés. Le rôle de « middlemen » que jouent les investisseurs à court terme ont modifié les comportements-types des marchés de matières premières. Les praticiens de certaines firmes de trading nous l'ont confirmé de vive voix. Surtout, l'observation statistique à compter de l'ouverture effective de ces marchés du fait du *Commodity Futures Modernization Act* (2000, textes d'application vers 2002-2003) la moindre ouverture à la suite de l'abrogation de cette législation par le *Dodd-Frank Act* en 2009 (textes d'application vers 2012) montrent bien cet impact, malgré la simultanéité d'autres facteurs que l'on ne peut ignorer.

Enfin, la spécificité de l'agriculture est aussi prise en considération dans le modèle Momagri par le fait que la combinaison de ce que l'on vient de décrire et de ce que l'on a rappelé dans le cadre du critère n°2 conduit à des risques de natures bien différenciées : un risque exogène ( le risque naturel) et un risque endogène multiforme (celui résultant de cette spécificité, traduite par le couplage psychologie des acteurs/situations de marchés).

#### Critère 7 : Stocks agricoles

---

Si les premières versions du modèle Momagri ne comportaient pas de modélisation des stocks, les dernières versions (3-4) en ont introduit une,

à la suite du Conseil Scientifique tenu à la fin de 2013. Cette modélisation est relativement complète, prenant en considération le stockage privé volontaire - proche d'un investissement à court terme sur les marchés au comptant, de nature spéculative si l'investissement n'est pas couvert sur le marché à terme - comme le stockage public - répondant à diverses logiques selon les zones - et enfin ce que l'on a appelé le stockage involontaire ou résiduel, sorte de « trou noir » qui permet de ne pas « coller » de façon trop dogmatique à l'idée que les emplois connus d'une ressource rare doivent évaluer exactement les quantités disponibles ajoutées aux quantités produites durant la période considérée.

Il faut cependant noter que, dans les simulations, seul le stockage « public » a été introduit jusqu'ici, par précaution dans la progression de la modélisation.

Pour résumer l'analyse du modèle Momagri, on peut dresser le tableau suivant :

Critère	Prise en compte dans le modèle
1. Dépendance et irréversibilités	Non
2. Risque, volatilité des prix et anticipations	Oui, point fort du modèle
3. Lutte contre la pauvreté	Oui, à l'intérieur du module central, même de façon limitée
4. Capacité d'innovation	Module ayant été travaillé, mais resté inachevé à ce stade
5. Environnement et biodiversité	Non réalisé
6. Prise en compte des spécificités de l'agriculture	Autre point fort du modèle. Leurs spécificités sont multiples et sont modélisées de façon assez fine
7. Prise en compte des stocks	Oui, avec plusieurs types de stockage distingués (un seul mis en œuvre dans les simulations jusqu'ici)

## Conclusion

Eclairer la décision publique avec la plus grande objectivité possible quant aux conséquences des choix effectués doit rester un objectif de la recherche finalisée. Face au constat de la prédominance de représentations de l'économie agricole qui passe sous silence les principales causes de la volatilité structurelle des marchés agricoles, Momagri continue de développer des travaux de modélisation dont le but

n'est pas tant de se substituer aux modèles dominants que de mettre en évidence les limites de ces derniers.

Alors que la loi de King, établie il y a près de quatre siècles, ou la théorie du Cobweb des années 1930 sont les principaux totems de la recherche sur la volatilité structurelle des marchés agricoles, Momagri considère qu'il ne doit plus être tabou de critiquer les approches basées trop strictement sous l'hypothèse de l'équilibre général ; hypothèses certes bien commodes pour le modélisateur, mais souvent insupportables pour le spécialiste ou le praticien des marchés agricoles.

Ainsi, pour illustrer le besoin de poursuivre le développement de modélisations alternatives, prenant les distances nécessaires avec la théorie de l'équilibre général, nous mettons en exergue la première simulation provenant du modèle Momagri publiée dans une revue académique (figure 1) et une synthèse des simulations produites par l'OCDE depuis 2000 (figure 2).

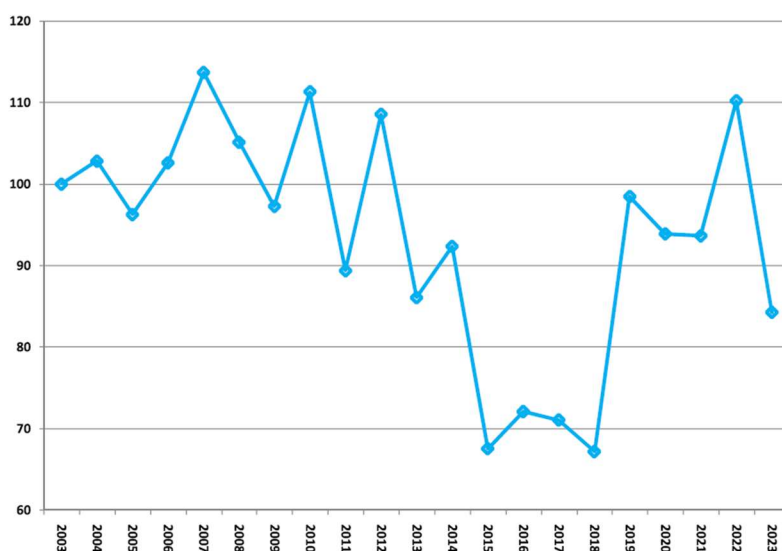
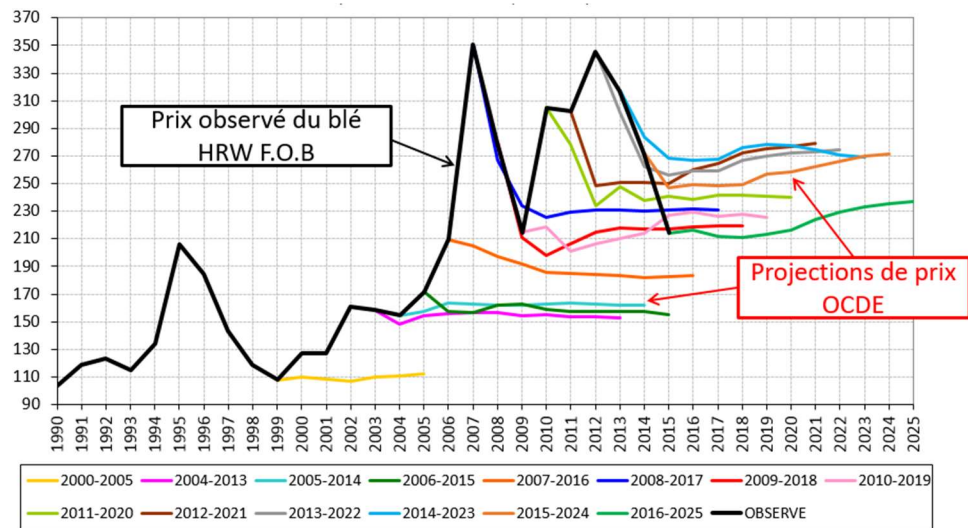


Figure 1 : Simulation à partir du modèle Momagri réalisé en mars 2009. Prix moyen annuel des céréales. Indice 100 = moyenne 2001-03

Sur la figure 2 chaque tracé de couleur correspond aux résultats d'une des prévisions effectuées chaque année depuis 2000. Quasiment stationnaires, suggérant au mieux de petites variations, en contradiction flagrante avec la réalité des prix observés (trait en noir), on serait tenté d'en sourire si ces simulations n'étaient pas la partie émergée d'un iceberg d'obscurantisme pronant la dérégulation des marchés agricoles et la suppression des politiques publiques en vertu de l'auto-régulation des marchés et au nom du bien-être du plus grand nombre.



Source : IGC, OCDE ; Mise en forme : José Ramanantsoa, Centre d'Etudes et de Prospective

Figure 2 : Synthèse des prévisions de l'OCDE à partir du modèle Aglink

Lecture : Chaque tracé de couleur reprend les résultats d'une simulation annuelle, la courbe en noir correspond au prix moyen annuel observé.

*« Une des causes principales de la misère dans les sciences est qu'elles se croient riches, le plus souvent présomptueusement. Leur but n'est pas d'ouvrir une porte à la sagesse infinie mais de poser une limite à l'erreur infinie. »*

La Vie de Galilée (1938)

Bertolt Brecht

## Annexe : liste de modèles non analysés dans le rapport

---

Lors de notre recherche, nous avons rencontré un certain nombre de modèles qui n'obéissaient pas aux critères d'inclusion dans le présent rapport, mais qui présentent néanmoins un intérêt, soit d'un point de vue historique, soit d'un point de vue technique. Ces modèles sont rapidement présentés ici pour mémoire.

**ATPSM<sup>94</sup>** : Le modèle ATPSM (*Agricultural Trade Policy Simulation Model*) a été développé dès 1988 par la CNUCED (*Conférence des Nations Unies pour le Commerce et le Développement*) pour analyser les politiques commerciales relatives aux produits agricoles au niveau mondial. Il s'agit d'un modèle d'équilibre partiel statique et déterministe. Il a notamment été utilisé pour analyser l'impact potentiel d'une réduction des tarifs douaniers agricoles sur les pays du Golfe<sup>95</sup> mais semble être peu utilisé à ce jour.

**CAPSIM<sup>96</sup>** : le modèle CAPSIM (*Common Agricultural Policy SIMulation*) est un modèle d'équilibre partiel développé au début des années 1980 par le *European Centre for Agricultural, Regional and Environmental Policy Research* (EuroCARE) et l'université de Bonn pour Eurostat. Il a depuis été transféré au JRC et intégré à la plateforme iMAP. L'objectif du modèle est de fournir des analyses d'impact rapides et robustes pour les changements dans la PAC. Il a notamment été utilisé pour analyser l'impact potentiel d'une réforme relative au secteur laitier et de l'entrée dans l'Union de pays des Balkans<sup>97</sup>.

**G-CUBED<sup>98</sup>** : le modèle G-Cubed est un modèle académique, hybride entre différents types de modèles macroéconomiques. Comme les modèles d'équilibre général calculable, il décompose l'économie de chaque pays par secteur d'activité, avec jusqu'à 57 secteurs ; comme les modèles macroéconomiques standards (DSGE), il modélise l'épargne et l'investissement, ainsi que les anticipations des acteurs économiques ; comme les modèles de finance internationale, il inclut les flux de capitaux entre pays. Ce modèle a initialement été développé pour analyser le marché de l'énergie et les impacts environnementaux ; il a également été appliqué aux accords internationaux de libre-échange d'un point de vue

---

<sup>94</sup> (Peters & Vanzetti, 2004).

<sup>95</sup> (Vanzetti & Peters, 2010).

<sup>96</sup> (Witzke & Zintl, 2007)

<sup>97</sup> (Witzke, et al., 2009)

<sup>98</sup> (McKibbin & Wilcoxon, 2013).

général, sans focalisation sur l'agriculture, ce qui justifie qu'il ne soit présenté ici que de façon sommaire.

**GPM<sup>99</sup>** : Le modèle GPM (*Global Policy Model*) a été développé par le *Department of Economic and Social Affairs* (DESA) de l'ONU. Il s'agit d'un modèle *sui generis* d'inspiration keynésienne, qui descend d'un modèle développé dans les années 1970 à Cambridge. Il intègre la production et les échanges de biens et de services, les opérations financières et modélise également explicitement les politiques économiques. Il sert de base au *Trade and Development Report* de l'ONU, et a notamment été utilisé pour analyser le TTIP, pour lequel il donne des résultats très différents des modèles économiques standard<sup>100</sup>.

**MAGPIE<sup>101</sup>** : Le modèle MAGPIE (*Model of Agricultural Production and its Impact on the Environment*) est un modèle académique de programmation mathématique consacré à l'agriculture et à l'utilisation des terres. Il a été développé au *Potsdam Institute for Climate Impact Research*.

**TRIST<sup>102</sup>** : Le modèle TRIST (*Tariff Reform Impact Simulation Tool*) constitue un outil d'analyse simplifié du commerce international, développé par la Banque mondiale et programmé dans Excel. Il permet de calculer l'impact d'une variations des tarifs douaniers sur les revenus du pays, sans faire appel à la modélisation économique pour analyser les autres impacts économiques.

**WATSIM<sup>103</sup>** : Le modèle WATSim (*World Agricultural Trade Simulation model*) a été développé par l'Université de Bonn à la fin des années 1980 pour modéliser les politiques commerciales relatives aux matières premières agricoles au niveau mondial. Il s'agit d'un modèle d'équilibre partiel, qui a été substantiellement révisé en 2003, mais ne semble plus être utilisé depuis le milieu des années 2000.

**WEAM<sup>104</sup>** : le modèle WEAM (*World Energy and Agricultural Markets*) a été développé par l'université de Texas A&M. Il est très similaire au modèle GTAP, avec des développements consacrés aux biocarburants.

---

<sup>99</sup> (Cripps & Izurieta, 2014).

<sup>100</sup> (Capaldo, 2014)

<sup>101</sup> (Lotze-Campen, et al., 2008).

<sup>102</sup> (Brenton, et al., 2009).

<sup>103</sup> (Kuhn, 2003).

<sup>104</sup> (Bryant, et al., 2011)



## Bibliographie

---

AGMEMOD Partnership, 2008. Impact Analysis of CAP Reform on the Main Agricultural Commodities, s.l.: JRC.

Al-Riffai, P., Dimaranan, B. & Laborde, D., 2010. *Global Trade and Environmental Impact Study of the EU Biofuels Mandate*, s.l.: ATCLASS Consortium.

Artavia, M., Grethe, H., Möller, T. & Zimmerman, G., 2009. *Correlated order three gaussian quadratures in stochastic simulation modelling*. Santiago, Chile, s.n., pp. 10-12.

Aussilloux, V., Emlinger, C. & Fontagné, L., 2011. What benefits from completing the single market. *La lettre du CEPII*, Issue 316.

Babcock, B., Moreira, M. & Peng, Y., 2013. *Biofuel taxes, subsidies, and mandates: Impacts on US and Brazilian markets*, s.l.: Food and Agricultural Policy Research Institute, Iowa State University.

Binfield, J. & Westhoff, P., 2003. FAPRI analysis of the European Commission's mid-term review proposals. In: *Mid-term review of the Common Agricultural Policy July 2002 proposals impact analysis*. Brussels: European Commission Directorate-General for Agriculture.

Blanco Fonseca, M. & al, 2010. Impacts of the EU biofuel target - agricultural markets and land use, a comparative modelling assessment, s.l.: s.n.

Boeters, S. & Savard, L., 2011. The Labour Market in CGE Models. Dans: *Handbook of CGE Modeling*. s.l.:s.n., pp. 1645-1718.

Bouakez, H., Cardia, E. & Ruge-Murcia, F. J., 2009. The transmission of monetary policy in a multisector economy. *International Economic Review*, 50(4), pp. 1243-66.

Bouët, A., Bureau, J., Decreux, Y. & Jean, S., 2004. Assessing the impact of multilateral agricultural liberalization: the contrasted fortunes of developing countries in the Doha Round.. *7th annual conference on global economic analysis, trade, poverty and the environment*, pp. 17-19.

Bouet, A., Estrades, C. & Laborde, D., 2013. Households heterogeneity in a global CGE model: an illustration with the MIRAGE-HH (MIRAGE-HouseHolds) model, s.l.: s.n.

Boulanger, P. & Philippidis, G., 2014. Modelling the Common Agricultural Policy with the Modular Agricultural GeNeral Equilibrium Tool (MAGNET) - Effects of the 2014-2020 CAP financial agreement on welfare, trade, factor and product markets, s.l.: European Commission.

Bourguignon, F., Robilliard, A. S. & Robinson, S., 2003. Representative versus real households in the macro-economic modeling of inequality, s.l.: s.n.

Boussard, J.-M. et al., 2006. Endogenous risk and long run effect of liberalization in a global analysis. *Economic Modelling*, 23(3), pp. 457-475.

Boussard, J. et al., 2002. Agricultural trade liberalization in a world of uncertainty: discussion of the results of a world CGE model. s.l., s.n.

Boussard, J.-M. et al., 2004. May the pro-poor impacts of trade liberalisation vanish because of imperfect information. *Agricultural Economics*, Volume 31, pp. 297-305.

Brenton, P., Saborowski, C., Staritz, C. & von Uexkull, E., 2009. Assessing the adjustment implications of trade policy using TRIST (Tariff Reform Impact Simulation Tool), s.l.: s.n.

Britz, W. & Witzke, P., 2014. *CAPRI model documentation 2014*, s.l.: s.n.

Bryant, H., Campiche, J. & Lu, J., 2011. A static computable general equilibrium model of world energy and agricultural markets, s.l.: s.n.

Bukowski, M. & Kowal, P., 2010. Large scale, multi-sector DSGE model as a climate policy assessment tool, s.l.: Institute for Structural Research.

Burniaux, J. & Truong, T., 2002. GTAP-E: an energy-environmental version of the GTAP model, s.l.: s.n.

Burrell, A. & alii., 2011. Potential EU-Mercosur Free Trade Agreement: Impact Assessment - volume 1: Main results, s.l.: European Commission.

Burrell, A. & Nii-Naate, Z., 2013. Partial stochastic analysis with the European Commission's version of the AGLINK-COSIMO model, s.l.: Publication Office of the European Union.

Bussolo, M., De Hoyos, R. E. & Medvedev, D., 2010. Economic Growth and Income Distribution: Linking Macro-economic Models with Household Survey Data at the Global Level. *International Journal of Microsimulation*, 3(1), pp. 92-103.

Bussolo, M., de Hoyos, R., Medvedev, D. & van der Mensbrugghe, D., 2008. *Global climate change and its distributional impacts*, Washington DC: World Bank.

Calzadilla, A., Rehdanz, K. & Tol, R., 2011. The GTAP-W model: Accounting for water use in agriculture, s.l.: s.n.

Capaldo, J., 2014. The Trans-Atlantic Trade and Investment Partnership: implications for the European Union and beyond, s.l.: Global Development and Environment Institute, Tufts University.

Centre for Economic Policy Research, 2013. Reducing Transatlantic Barriers to Trade and Investment - An Economic Assessment, Londres: s.n.

Chantreuil, F., Hanrahan, K. & van Leeuwen, M., 2012. *The Future of EU Agricultural Markets by AGMEMOD*. s.l.:Springer.

Chen, S. & Ravallion, M., 2003. Welfare impacts of China's accession to the WTO. In: D. Bhattasali, S. Li & W. Martin, eds. *China and the WTO: Accession, Policy Reform, and Poverty Reduction Strategies*. Oxford: Oxford University Press.

Commission Européenne, DG agriculture et développement rural, 2014. *Prospects for EU agricultural markets and income 2014-2024*, s.l.: s.n.

Cripps, F. & Izurieta, A., 2014. *The UN Global Policy Model: Technical Description*, Geneva, Sztwerland: United Nation Conference on Trade and Development.

Decreux, Y. & Fontagné, L., 2011. Economic impact of potential outcome of the DDA, s.l.: s.n.

Decreux, Y. & Valin, H., 2007. MIRAGE, updated version of the model for trade policy analysis: focus on agriculture and dynamics, s.l.: s.n.

Depperman, A., Grethe, H. & Offermann, F., 2010. Farm level effects of EU policy liberalization: Simulations based on an EU-wide agricultural sector model and a supply model of the German agricultural sector. Berlin, s.n.

Dumortier, J. & alii, 2010. *Modeling the effects of pasture expansion on emissions from land-use change*, s.l.: Center for Agricultural and Rural Development.

Eppink, F. & van den Bergh, J., 2007. Ecological theories and indicators in economic models of biodiversity loss and conservation: A critical review. *Ecological Economics*, 61(2), pp. 284-93.

Ezekiel, M., 1938. The Cobweb Theorem. *The Quarterly Journal of Economics*, 52(2), pp. 255-80.

Femenia, F., 2010. Impacts of stockholding behaviour on agricultural market volatility: a dynamic computable general equilibrium approach. *German Journal of Agricultural Economics*, 59(3), pp. 187-201.

Féménia, F., 2010. Politique Agricole Commune et Stabilisation des Revenus et Marchés Agricoles Européens, s.l.: s.n.

Féménia, F., 2012. Should private storage be subsidized to stabilize agricultural markets after price support schemes are removed?, s.l.: s.n.

Féménia, F. & Gohin, A., 2011. Dynamic modelling of agricultural policies: the role of expectation schemes. *Economic modelling*, July, 28(4), pp. 1950-58.

Féménia, F. & Gohin, A., 2013. On the optimal implementation of agricultural policy reforms. *Journal of Policy Modeling*, 35(1), pp. 61-74.

Feng, S., Binfield, J., Patton, M. & Davis, J., 2013. Incorporating uncertainties within the FAPRI-UK modelling system: a stochastic approach, s.l.: s.n.

Ferreira-Filho, J. & Horridge, M., 2005. The Doha Round, poverty and regional inequality in Brazil. In: T. Hertel & L. A. Winters, eds. *Poverty Impacts of a WTO agreement: Putting development back into the Doha Agenda*. New York: Palgrave Macmillan.

Figiel, S. & Hamulczuk, M., 2010. Development and application of advanced analytical methods for ex-ante and ex-post evaluation of the effects of changes in the Common Agricultural Policy and in macroeconomic determinants, Varsovie: Institute of agricultural and food economics national research institute.

Food and Agricultural Policy Research Institute - University of Missouri, 2015. *U.S. Baseline Briefing Book - Projections for Agricultural and Biofuels Markets*, Columbia, Missouri: University of Missouri.

Food and Agricultural Policy Research Institute, 2011. *FAPRI-ISU 2011 World Agricultural Outlook*, Ames, Iowa: Iowa State University.

Fuss, S. et al., 2011. Large-scale modelling of global food security and adaptation under crop yield uncertainty. Zurich, Switzerland, s.n.

Galko, E. & Jayet, P., 2011. Economic and environmental effects of decoupled agricultural support in the EU. *Agricultural economics*, 42(5), pp. 605-18.

Gérard, F., Piketty, M.-G. & Boussard, J.-M., 2007. Analyse de l'impact de scénarios de libéralisation des échanges agricoles internationaux à partir du modèle ID3, s.l.: CIRAD.

Gocht, A. & Britz, W., 2011. EU-wide farm type supply models in CAPRI - How to consistently disaggregate sector models into farm type models. *Journal of Policy Modeling*, Volume 33, pp. 146-67.

Gohin, A., 2011. Les sources d'instabilité des marchés agricoles : état des lieux, avancées possibles et limites méthodologiques de leur modélisation, s.l.: s.n.

Grethe, Harald, et alii., 2012. European Simulation Model (ESIM): Documentation (Model Code, Parameterization, Database), Hohenheim: s.n.

Hanrahan, K., 2001. *The EU Gold Model*, Dublin: Teagasc.

Havlik, P. & al., 2011. Global land-use implications of first and second generation biofuel targets. *Energy Policy*, Volume 39, pp. 5690-702.

Helming, J. & alii., 2015. Implementation of the GTAP emission database in MAGNET: application at European and global scales, s.l.: s.n.

Hertel, T., 2012. Global Applied General Equilibrium Analysis using the GTAP Framework. In: P. B. Dixon & D. W. Jorgenson, eds. *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling*. s.l.:Elsevier.

Hertel, T., Reimer, J. J. & Valenzuela, E., 2005. Incorporating commodity stockholding into a general equilibrium model of the global economy. *Economic Modelling*, Volume 22, pp. 646-64.

Hertel, T., Verma, M., Ivanic, M. & Rios, A., 2011. GTAP-POV: A framework for Assessing the National Poverty Impacts of Global Economic and Environmental Policies, s.l.: s.n.

Hess, S. & von Cramon-Taubadel, S., 2008. A Meta-Analysis of General and Partial Equilibrium Simulations of Trade Liberalisation under the Doha Development Agenda. *The World Economy*, 31(6), pp. 804-840.

Hijzen, A., Upward, R. & Wright, P., 2010. The Income Losses of Displaced Workers. *Journal of Human Resources*, 45(1), pp. 243-69.

Howitt, R., 1995. Positive Mathematical Programming. *American Journal of Agricultural Economics*, 77(2), pp. 329-42.

Hübler, M., 2011. Technology diffusion under contraction and convergence: A CGE analysis of China. *Energy Economics*, 33(1), pp. 131-42.

IFPRI, 2009. Climate Change - Impact on Agriculture and Cost of Adaptation, Washington DC: s.n.

International Food Policy Research Institute, 2009. *Climate change - impact on agriculture and costs of adaptation*, Washington DC: s.n.

Jayet, P.-A. & al., 2015. The European agro-economic AROPAj model, s.l.: INRA.

Keeney, R. & Hertel, T., 2005. GTAP-Agr: A framework for assessing the implications of multilateral changes in agricultural policies, s.l.: s.n.

Kletzer, L., 2001. Job loss from imports: measuring the costs. s.l.:Peterson Institute.

Kuhn, A., 2003. *From World Market to Trade Flow Modelling - the Re-Designed WATSIM Model*, s.l.: Institute of Agricultural Policy, Market Research and Economic Sociology.

Laborde, D., Martin, W. & van der Mensbrugghe, D., 2012. Implications of the Doha market access proposals for developing countries. *World Trade Review*, 11(1), pp. 1-25.

Leip, A. et al., 2008. Linking an economic model for European agriculture with a mechanistic model to estimate nitrogen and carbon losses from arable soils in Europe. *Biogeosciences*, Volume 5, pp. 73-94.

Lence, S. & Hayes, D., 2002. U.S. Farm Policy and the volatility of commodity prices and farm revenues. *American Journal of Agricultural Economics*, 84(2), pp. 335-51.

Lotze-Campen, H. et al., 2008. Global food demand, productivity growth and the scarcity of land and water resources: a spatially explicit mathematical programming approach. *Agricultural Economics*, 39(3), pp. 325-38.

M'barek, R., Britz, W., Burrell, A. & Delincé, J., 2012. An integrated Modelling Platform for Agro-economic Commodity and Policy Analysis (iMAP) - a look back and the way forward, s.l.: s.n.

McKibbin, W. & Wilcoxon, P., 2013. A global approach to energy and the environment: the G-Cubed model. In: P. Dixon & D. Jorgenson, eds. *Handbook of CGE Modeling*. s.l.:Elsevier, pp. 995-1068.

Meyer, S., Binfield, J. & Westhoff, P., 2010. Interactions between Energy Markets and Agriculture in the U.S.: a Stochastic Approach. *Journal of International Agricultural Trade and Development*, 6(1), pp. 21-40.

Meyers, W. H., Westhoff, P., Fabiosa, J. F. & Hayes, D. J., 2010. The FAPRI Global Modeling System and Outlook Process. *Journal of International Agricultural Trade and development*, 6(1), pp. 1-19.

Munier, B., 2010. *Boundedly rational exuberance on commodity markets*. Risk and Decision Analysis, 2(1), pp 33-50.

Möller, T., Grethe, H., Waha, K. & Müller, C., 2011. *Modelling Climate Change Impact on European Agriculture: Does the Choice of Global Circulation Model Matter?*. Zurich, Switzerland, XIIIth EAAE Congress "change and uncertainty".

Narayanan, B., Hertel, T. & Horridge, J., 2010. Disaggregated data and trade policy analysis: The value of linking partial and general equilibrium models. *Economic modelling*, 27(3), pp. 755-766.

Nekhay, O., Gay, S. & Fellmann, T., 2011. *A free trade between Ukraine and the European Union: Challenges and Opportunities for agricultural markets*, Zurich, Switzerland: European Association of Agricultural Economists, International Congress.

Parrado, R. & De Cian, E., 2014. Technology spillovers embodied in international trade: Intertemporal regional and sectoral effects in a global CGE framework. *Energy Economics*, Volume 41, pp. 76-89.

Pérez Dominguez, I., Britz, W. & Holm-Müller, K., 2010. Trading schemes for greenhouse gas emissions from European agriculture: A

comparative analysis based on different implementation options. *Review of Agricultural and Environmental Studies*, 90(3), pp. 287-308.

Peters, R. & Vanzetti, D., 2004. *User Manual and Handbook on Agricultural Trade Policy Simulation Model (ATPSM)*, Geneva, Switzerland: United Nations Conference on Trade and Development.

Piermartini, R. & Teh, R., 2005. *Demystifying modelling methods for trade policy*, Geneva, Switzerland: World Trade Organization.

Plevin, R. J. et al., 2014. Agro-ecological Zone Emission Factor (AEZ-EF) Model - a model of greenhouse gas emissions from land-use change for use with AEZ-based economic models, s.l.: s.n.

Reidsma, P., Tekelenburg, T., van den Berg, M. & Alkemade, R., 2006. Impacts of land-use change on biodiversity: An assessment of agricultural biodiversity in the European Union. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Volume 114, pp. 86-102.

Robinson, S. & Willenbockel, D., 2010. GLOBE CGE simulation scenarios for Foresight Global Food and Farming Futures project: summary of main results, Brighton: IDS.

Rosegrant, M., Agcaoili-Sombilla, M. & Perez, N., 1995. *Global Food Projections to 2020: Implications for investment*, Washington DC: International Food Policy Research Institute.

Rosegrant, M. & al., 2012. *International Model for Policy Analysis of Agricultural Commodities and Trade (IMPACT)*, Washington D. C.: International Food Policy Research Institute.

Schneider, U. & al., 2008. The European Forest and Agricultural Sector Optimization Model - EUFASOM. s.l., s.n.

Shapiro, C. & Stiglitz, J. E., 1984. Equilibrium unemployment as a worker discipline device. *The American Economic Review*, pp. 433-44.

Smeets, E. et al., 2014. The impact of the rebound effect of the use of first generation biofuels in the EU on greenhouse gas emissions: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 38, pp. 393-403.

Smets, F. & Wouters, R., 2007. Shocks and frictions in US business cycles: a Bayesian DSGE approach, s.l.: National bank of Belgium.

Taya, S., 2012. Stochastic model development and price volatility analysis, s.l.: OECD Publishing.

Thompson, W., Meyer, S. & Westhoff, P., 2008. *Fapri-MU model of the United States ethanol market*, s.l.: s.n.

Valenzuela, E., Hertel, T., Keeney, R. & Reimer, J., 2007. Assessing global computable general equilibrium model validity using agricultural

price volatility. *American Journal of Agricultural Economics*, 89(2), pp. 383-397.

Van der Mensbrugghe, D., 2005. *Linkage technical reference document*, s.l.: Development Prospects Group, The World Bank.

van Ittersum, M. & alii, 2008. Integrated assessment of agricultural systems - A component-based framework for the European Union (SEAMLESS). *Agricultural Systems*, Volume 96, pp. 150-165.

van Meijl, H. & van Tongeren, F., 1999. Endogenous international technology spillovers and biased technical change in the GTAP model, s.l.: s.n.

Vanzetti, D. & Peters, R., 2010. Impact of tariff reductions in NAMA and agriculture WTO negotiations on GCC common external tariffs. Adelaide, South Australia, s.n.

von Lampe, M., 2008. Economic Assessment of biofuels support policies, Paris.: OCDE.

Walmsley, T., Aguiar, A. & Narayanan, B., 2012. *Introduction to the Global Trade Analysis Project and the GTAP Data Base*, s.l.: Center for Global Trade Analysis, Purdue University.

Was, A., Zawalinkska, K., Britz, W. & IRWiR, 2014. Impact of 'greening' the Common Agricultural Policy: Evidence from selected countries based on CAPRI model, s.l.: s.n.

Williams, J. & Wright, B., 1991. *Storage and Commodity markets*. Cambridge: Cambridge University Press.

Winters, L., McCulloch, N. & McKay, A., 2004. Trade liberalization and poverty: the evidence so far. *Journal of Economic Literature*, Volume XLII, pp. 72-115.

Witzke, H.-P., Ciaian, P. & Delincé, J., 2014. CAPRI Long-term Climate Change Scenario Analysis: the AgMIP Approach, s.l.: s.n.

Witzke, H. & Zintl, A., 2007. The Common Agricultural Policy Simulation (CAPSIM) Model: Structure and Applications, s.l.: s.n.

Witzke, H., Zintl, A. & Tonini, A., 2009. The Common Agricultural Policy SIMulation (CAPSIM) Model: dairy reform and western Balkan countries accession scenarios, s.l.: European Commission JRC.

Woltjer, G. & Kuiper, M., 2014. *The MAGNET Model*, Wageningen: LEI Wageningen UR.