Matière
à débattre & décider

Agrimonde

Scénarios et défis pour nourrir le monde en 2050

S. Paillard, S. Treyer, B. Dorin, coord.

éditions Quæ

Agrimonde

Scénarios et défis pour nourrir le monde en 2050

Agrimonde

Scénarios et défis pour nourrir le monde en 2050

Sandrine Paillard, Sébastien Treyer
et Bruno Dorin, coordinateurs

Éditions Quæ

Collection *Matière à débattre et décider*

Pollutions chimiques accidentelles du transport maritime
Michel Girin, Emina Mamaca
2010, 160 p.

Données économiques maritimes françaises 2009 (DEMF09)
Régis Kalaydjian
2010, 144 p.

Risques et impacts des retenues d'altitude
André Évette, Laurent Peyras, Dominique Laigle
2009, 32 p.

Éditions Quæ
RD 10
78026 Versailles Cedex, France

© Éditions Quæ 2010
ISBN 978-2-7592-0888-3
ISSN 2105-8830

Le Code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction, même partielle, du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6e.

Préface

Pourrait-on nourrir tout le monde aujourd'hui ? Certainement d'un strict point de vue des quantités d'aliments produites par l'agriculture sur la terre (3 000 kcal/hab./jour en 2003), mais c'est bien sûr sans compter avec les crises et guerres, les inégalités, les spéculations et les prix inabordables pour trop de pauvres urbains et ruraux, les pertes et gaspillages, les accidents climatiques et les invasions de parasites qui affament les paysans de nombreuses régions du monde. Amartya Sen, dans son ouvrage paru en 1981 « Poverty and Famines » le formule simplement : « Une famine est le signe que des gens n'ont pas assez à manger non qu'il n'y a pas assez à manger ». D'où le milliard de personnes sous-alimentées en 2009. Et qu'en sera-t-il en 2050 lorsque 3 milliards d'humains de plus pourraient vivre sur cette planète ? C'est bien la question essentielle que nous posons dans cet ouvrage. C'est bien la question sur laquelle l'INRA et le CIRAD ont pris l'initiative de travailler depuis 2006 en lançant la prospective Agrimonde.

Simple dans son énoncé, la question posée est difficile à traiter en pratique. Le défi alimentaire et agricole ne saurait en effet se limiter à la satisfaction théorique des seuls besoins quantitatifs alimentaires de la population de la planète. Il s'agit tout autant de permettre à tous d'accéder à une nourriture suffisante, sécurisée d'un point de vue sanitaire et équilibrée sur le plan nutritionnel. Le défi ne saurait de même se réduire aux seules dimensions d'offre et de demande de biens agricoles et alimentaires. Les systèmes alimentaires et agricoles doivent aussi s'inscrire dans une logique de développement durable en tenant compte de la question énergétique induite par la raréfaction progressive des énergies fossiles ; sans oublier la montée des inégalités sociales. Tout autant que produire plus, les agricultures du monde devront produire mieux dans le cadre de pratiques et de systèmes agricoles économes en intrants issus d'énergies fossiles, et respectueux des ressources naturelles. Elles devront aussi produire d'autres choses, des biens énergétiques et industriels en substitution aux produits de la pétrochimie, comme des services environnementaux et territoriaux (préservation des sols et des eaux, protection de la biodiversité, stockage du carbone, prévention et limitation des incendies et des inondations, fourniture de paysages ouverts et diversifiés).

La complexité de la question nous a conduit à privilégier une approche prospective en considérant, dans une première étape, deux scénarios décrivant des futurs possibles très contrastés. Ils retiennent le même horizon temporel (2050) et les mêmes hypothèses de croissance démographique dans chaque grande région du monde, ainsi que les mêmes hypothèses de migrations entre zones. Ils se différencient par leurs trajectoires d'évolution des systèmes alimentaires et agricoles, trajectoires emblématiques de deux visions contrastées du monde de demain. Le premier scénario correspond à la prolongation des évolutions actuelles des productions et des utilisations des diverses biomasses alimentaires dans un monde libéralisé où la priorité est donnée à la croissance économi-

que et au bien-être matériel des générations actuelles. Le deuxième fixe un objectif de satisfaction des besoins alimentaires de 3 000 kilocalories par jour et par habitant, dont 500 d'origines animale et aquatique, dans toutes les zones du monde ; cela suppose des ajustements à la baisse dans les pays développés et à l'inverse, des augmentations substantielles des consommations alimentaires dans nombre de pays en développement. Ici les trajectoires régionales d'évolution des systèmes alimentaires et agricoles des diverses régions du monde s'inscrivent dans un objectif de durabilité.

Nous vous invitons à mieux découvrir dans cet ouvrage les récits de ces deux scénarios, et leurs enseignements. Sans entrer ici dans les détails, retenons trois défis mis en évidence par la prospective. Ils portent sur les comportements de consommation alimentaire et leurs effets importants sur les grands équilibres, les choix technologiques et organisationnels de production agricole et la possibilité d'une agriculture intensive et écologique, et enfin les échanges internationaux de produits agricoles et agroalimentaires et la possibilité de leur sécurisation au niveau mondial. Ces trois questions font l'objet des derniers chapitres de l'ouvrage.

Ce premier travail appelle des prolongements : d'une part, doter notre pays d'une plateforme pérenne, quantitative et qualitative, permettant d'organiser la réflexion sur les futurs alimentaires et agricoles, et, d'autre part, identifier les questions prioritaires posées à la recherche agronomique internationale. Cette plateforme sera constituée par le CIRAD et l'INRA à la fin de cette année 2010.

Avant de vous convier à la lecture, nous voulons remercier toutes celles et tous ceux qui ont participé à cette première phase de « l'aventure Agrimonde » : les scientifiques de l'INRA et du CIRAD, ou d'autres institutions de recherche et d'enseignement, comme les différents experts qui ont été sollicités et ont bien voulu nous prodiguer conseils, critiques mais aussi encouragements.

Marion Guillou, Présidente de L'INRA,

et **Gérard Matheron**, Président du CIRAD

Sommaire

Préface 5
Marion Guillou et Gérard Matheron

Sommaire 7

Agrimonde : un collectif de travail 11

Remerciements 12

Introduction 13
Bruno Dorin, Sandrine Paillard et Sébastien Treyer

1 - Agrimonde : une plateforme pour animer la réflexion prospective sur les agricultures et alimentations du monde 17
Sébastien Treyer, Sandrine Paillard et Bruno Dorin

Une plateforme fondée sur la complémentarité d'analyses quantitatives et qualitatives 17
Une approche complémentaire d'autres prospectives mondiales 21

2 - Agribiom : un module quantitatif rétro-prospectif 25
Bruno Dorin et Tristan Le Cotty

Organisation générale des traitements 26
Couvertures temporelle et géographique 26
Populations humaines 29
Utilisation des terres 30
Potentiels cultivables 33
Bilans des ressources et des emplois de biomasses alimentaires 36
Biomasses non alimentaires 41
Modèles de productions animales 42
Interface et simulations interactives 51

3 - Une rétrospective de l'économie alimentaire mondiale 55
Bruno Dorin

Populations humaines 55
Consommations alimentaires 57
Occupation des terres 58

Productions et productivités alimentaires 60
Usages des produits alimentaires 63
Commerce alimentaire 64

4 - Choix et principes de construction des scénarios **67**

Sandrine Paillard, Tévécia Ronzon et Sébastien Treyer

Agrimonde GO et Agrimonde 1, des scénarios construits en référence et en rupture par rapport aux scénarios du MEA 67
Les principes de construction des scénarios 72

5 - Quelles consommations alimentaires en 2050 ? **77**

Jean-Marc Chaumet, Gérard Ghersi et Jean-Louis Rastoin

Quelles populations en 2050 ? 77
Quels régimes alimentaires en 2050 ? 80

6 - Quelle occupation des sols en 2050 ? **93**

Tévécia Ronzon

Les principes retenus pour construire les hypothèses d'occupation des sols 93
Quelle occupation des sols en Afrique du Nord - Moyen-Orient en 2050 ? 99
Quelle occupation des sols en Afrique subsaharienne en 2050 ? 102
Quelle occupation des sols en Amérique latine en 2050 ? 106
Quelle occupation des sols en Asie en 2050 ? 109
Quelle occupation des sols en Ex-URSS en 2050 ? 112
Quelle occupation des sols dans la région ODCE en 2050 ? 115
Quelle occupation des sols dans le monde en 2050 ? 118

7 - Quels rendements des cultures alimentaires en 2050 ? **123**

Tévécia Ronzon

Les principes retenus pour construire les hypothèses de rendements des cultures alimentaires 123
Quels rendements des cultures alimentaires en Afrique du Nord - Moyen-Orient en 2050 ? 127
Quels rendements des cultures alimentaires en Afrique subsaharienne en 2050 ? 130
Quels rendements des cultures alimentaires en Amérique latine en 2050 ? 133
Quels rendements des cultures alimentaires en Asie en 2050 ? 136

Quels rendements des cultures alimentaires en Ex-URSS en 2050 ? 138
Quels rendements des cultures alimentaires dans la région OCDE en 2050 ? 141
Quels rendements des cultures alimentaires dans le monde en 2050 ? 144

8 - Les bilans des ressources et des emplois des scénarios Agrimonde **147**

Tristan Le Cotty et Jean-Marc Chaumet

Le bilan ressources-emplois en 2003 147
Le mode d'équilibrage du bilan ressources-emplois dans les scénarios 149
Le bilan mondial ressources-emplois du scénario Agrimonde GO 153
Le bilan mondial ressources-emplois du scénario Agrimonde 1 159
Conclusion 166

9 - Confrontation, cohérence et facteurs d'évolution des scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO **171**

Tévécia Ronzon, Jean-Marc Chaumet et Sandrine Paillard

Afrique du Nord - Moyen-Orient : le défi d'un développement fondé sur des ressources naturelles de plus en plus rares 172
Afrique subsaharienne : comment concilier durabilité et développement ? 176
Amérique latine : des ressources à exploiter mais aussi à protéger et à partager 180
Asie : aux limites du potentiel agricole, maîtriser l'urbanisation et la transition alimentaire 184
Ex-Union soviétique : un réservoir de production mais un modèle agricole à adapter à une démographie en baisse 188
OCDE : les régimes alimentaires, éléments importants du choix de modèle de développement 191
Des interactions régionales de plus en plus fortes pour nourrir le monde 194

10 - Dimensions qualitatives et récits des scénarios Agrimonde **199**

Sandrine Paillard et Sébastien Treyer

Les dimensions qualitatives des scénarios mondiaux 199
Les agricultures et alimentations du monde en 2050 dans les scénarios Agrimonde 202

11 - Regards prospectifs sur les comportements alimentaires, les options technologiques et les échanges **213**

Les comportements alimentaires en question : les ruptures envisagées sont-elles plausibles ? 214
Jean-Marc Chaumet, Francis Delpeuch, Gérard Ghersi et Jean-Louis Rastoin

Options pour l'intensification écologique : changements techniques, sociaux et territoriaux 222
Bernard Hubert et Tévécia Ronzon

Échanges et agriculture durable : quelles régulations ? 229
Michel Petit

Conclusion **233**

Bernard Hubert, Patrick Caron et Hervé Guyomard

La prospective Agrimonde en trois enjeux 233
La prospective Agrimonde, un outil de réflexion et de programmation 237

Annexes

Annexe 1 – Liste des pays et lignes de produits utilisés dans Agribiom – Comparaison des productions animales observées et simulées 241

Annexe 2 – Rétrospective de l'économie alimentaire mondiale 251

Annexe 3 – Disponibilités alimentaires et pertes de calories dans le scénario Agrimonde GO - Définition des pertes entre la production et la consommation finale 261

Annexe 4 – Les surfaces dans le scénario Agrimonde GO 263

Annexe 5 – Hypothèses des simulations Agrimonde - Équilibrage du bilan ressources-emplois 265

Annexe 6 – Hypothèses d'évolution pour les dimensions qualitatives des scénarios Agrimonde 273

Bibliographie **285**

Liste des sigles et acronymes **292**

Liste des auteurs **295**

Agrimonde : un collectif de travail

Sous la responsabilité d'un Comité de pilotage CIRAD-INRA, les scénarios Agrimonde ont été élaborés, analysés et discutés par un collectif, qui a réuni, durant une vingtaine d'ateliers de réflexion qui se sont déroulés de juin 2006 à décembre 2008, un groupe de travail et une équipe projet.

Comité de pilotage

Patrick Caron, CIRAD

Catherine Esnouf, INRA

Hervé Guyomard, INRA

Bernard Hubert, GIP IFRAI

Alain Weil, CIRAD

Groupe de travail

Bernard Bachelier, Fondation FARM

Danielle Barret, CIRAD

Pierre-Marie Bosc, CIRAD

Jacques Brossier, GIP IFRAI

Jean-Pierre Butault, INRA

Jean-Christophe Debar, Pluriagri

Francis Delpeuch, IRD

Fabrice Dreyfus, SupAgro Montpellier

Gérard Ghersi, Maison des Sciences de l'Homme de Montpellier

Michel Griffon, CIRAD

Christian Hoste, CIRAD

Bernard Hubert, GIP IFRAI

Marie de Lattre-Gasquet, CIRAD, Agence Nationale de la Recherche

Denis Lacroix, IFREMER

Jacques Loyat, Ministère de l'agriculture et de la pêche, DGER

Michel Petit, Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier

Jean-Louis Rastoin, SupAgro Montpellier

Équipe projet

Sébastien Treyer, IDDRI (Chef de projet)

Maryse Aoudaï, INRA

Jean-Marc Chaumet, INRA, Institut de l'élevage

Bruno Dorin, CIRAD

Tristan Le Cotty, CIRAD

Sandrine Paillard, INRA

Tévécia Ronzon, INRA

Avec la collaboration de Rémi Barré, INRA et CNAM, Isabelle Karcher, INRA, Laurent Parrot, CIRAD.

Remerciements

Le collectif Agrimonde tient à remercier très chaleureusement pour leur contribution à la réflexion Kais Abbes, Gilles Allaire, Rigas Arvanitis, Olivier Clément, Paul Colonna, Yves Dronne, Christophe Ferlin, Louise Fresco, Vincent Gitz, Ghislain Gosse, François Houllier, Jean-Charles Hourcade, Géraldine Kutas, Xavier Leverve, Claudia Ringler, Laurence Roudart, Christian Salle et Frank Schmitt. Ses remerciements vont également, pour son appui, au Conseil français de l'énergie et, pour leur assistance technique et logistique, à Jean-François Foucher et Claude Ladhuie.

Introduction

Bruno Dorin, Sandrine Paillard et Sébastien Treyer

Les interactions entre production agricole, alimentation et développement durable font l'objet d'un nombre croissant d'études et de débats, où se révèlent et s'affrontent les visions du monde et les positions dans l'arène géopolitique. Elles touchent en effet aux questions de répartition des richesses et de régulations internationales en matière de biens publics mondiaux et de commerce ; elles renvoient aussi aux conceptions des relations entre science et société, à celles du progrès, à celles du devenir de la planète et au rôle que l'homme peut y jouer.

La réflexion s'enrichit depuis quelques années de la confluence de travaux d'origines et de traditions variées : modélisations économétriques dédiées à l'analyse des politiques agricoles ou énergétiques, travaux de prospective mondiale d'inspiration géopolitique ou concernés par le développement durable global, travaux de modélisation sur l'impact des changements climatiques. S'y ajoutent maintenant les travaux issus de processus internationaux d'expertise scientifique sur les écosystèmes ou la diversité biologique. Il n'est guère aujourd'hui d'organisation internationale, de grande ONG, de grande firme ou de pays, qui n'apporte d'une façon ou d'une autre sa contribution au débat sur le futur de la production agricole et de l'alimentation mondiales, sur leurs interactions avec l'objectif de développement durable, sur ses implications pour les relations internationales et les politiques publiques, mais aussi pour les priorités de recherche.

De cette profusion d'informations, de données, d'approches, il ressort une certaine illisibilité d'ensemble. La prise de conscience des risques globaux conduit à multiplier les analyses et les enceintes internationales où elles sont présentées, mais cela ne clarifie pas nécessairement les enjeux et les options pour l'action. Cela ne conduit pas non plus à questionner les hypothèses sous-jacentes aux travaux à partir desquels se structurent les débats, ni à faire ressortir des réflexions ne s'insérant pas dans la doxa internationale.

En identifiant les marges de manœuvre, en ouvrant de nouveaux espaces de réflexion, les travaux prospectifs cherchent à faire évoluer ces discours. L'enjeu est de taille puisque ces travaux et les débats qu'ils suscitent sont le creuset où nombre de concepts et de raisonnements scientifiques et politiques se traduisent en normes et pèseront sur les négociations internationales en matière d'agriculture, d'échanges commerciaux ou d'aide au développement, ainsi que sur l'action des organisations multilatérales.

C'est dans l'objectif de permettre réflexivité et échanges approfondis que l'initiative Agrimonde CIRAD-INRA est née. Stimulée par les travaux du *Millennium Ecosystem*

Assessment (MEA) (MEA, 2005a) et de l'*International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development* (IAASTD) (IAASTD, 2009), elle s'est déclinée en trois objectifs généraux : 1) concevoir les modalités d'une réflexion stratégique fondée sur une approche prospective afin d'éclairer les orientations de la recherche dans le domaine de l'agronomie et de l'alimentation au sens large ; 2) initier un processus de débats, d'interactions et d'appropriation sur ces thèmes à l'échelle nationale ; 3) favoriser la participation d'experts français dans les débats internationaux sur le sujet.

L'opération Agrimonde a constitué une plateforme d'analyse et de mise en débat de scénarios, conçue comme un dispositif d'interactions entre « experts », c'est-à-dire chercheurs, décideurs et plus généralement parties prenantes et acteurs du système considéré.

La plateforme entend s'inscrire dans les principes fondamentaux de la démarche prospective :

- prise en compte du caractère systémique de la réalité, en intégrant autant que possible la multiplicité des variables pertinentes ;
- expression explicite des divergences, ainsi que de la variété des visions du monde et des positions tant scientifiques qu'institutionnelles ;
- prise en compte d'incertitudes scientifiques, mise en transparence d'hypothèses de construction de scénarios alternatifs, dans une optique d'exploration des possibles et en aucune façon de prévision ;
- travail d'apprentissage collectif ayant une incidence sur les représentations de chacun par implication des experts et des parties prenantes dans le processus de travail lui-même ;
- orientation à long terme des réflexions pour apprécier les effets individuels et combinés de l'évolution des variables, ainsi que les impacts des hypothèses sur les devenirs possibles ;
- transparence des étapes du travail, référence aux meilleurs travaux scientifiques pour constituer les bases analytiques et de données, explicitation des simplifications effectuées et des hypothèses formulées.

Cet ouvrage présente les résultats des travaux menés de 2006 à 2008 par le groupe de travail de la prospective Agrimonde. Les deux premiers chapitres présentent la plateforme d'animation prospective conçue pour construire les scénarios, en particulier le module quantitatif Agribiom qui constitue l'outil central de leur quantification. Le chapitre 3 est consacré à une rétrospective de l'économie alimentaire sur plus de quatre décennies (1961-2003), à l'échelle mondiale et par grandes régions (Afrique du Nord - Moyen-Orient, Afrique subsaharienne, Amérique latine, Asie, pays de l'Ex-URSS, OCDE). La connaissance des tendances passées s'est en effet avérée indispensable à la formulation d'hypothèses d'évolution des ressources et emplois agricoles à l'horizon 2050. Le chapitre 4 explique le choix des deux scénarios, l'un plutôt tendanciel (Agrimonde GO) et l'autre, en nette rupture par rapport aux tendances passées, imaginant ce que pourraient être des agricultures et alimentations durables en 2050 (Agrimonde 1). Les chapitres 5 à 10 présentent les étapes successives de l'exploration prospective. Sont d'abord

exposées les hypothèses quantitatives sur les emplois (Chapitre 5) et les ressources agricoles (surfaces agricoles au chapitre 6 et rendements des cultures alimentaires au chapitre 7). Les bilans ressources-emplois alimentaires sont ensuite calculés (Chapitre 8) pour évaluer sous quelles conditions le monde et les grandes régions nourrissent leur population dans chacun des scénarios. La cohérence des scénarios, leur confrontation et les facteurs d'évolution qui les sous-tendent sont analysés dans le chapitre 9 tandis que le chapitre 10 propose des récits complets de scénarios, combinant hypothèses quantitatives et qualitatives. Enfin, le chapitre 11 invite les lecteurs au débat en proposant trois points de vue sur les résultats d'Agrimonde relatifs à l'évolution des régimes alimentaires, l'intensification écologique et les échanges commerciaux.

1 - Agrimonde : une plateforme pour animer la réflexion prospective sur les agricultures et alimentations du monde

Sébastien Treyer, Sandrine Paillard et Bruno Dorin

Le groupe de travail Agrimonde s'est consacré de 2006 à 2008 à la construction de deux scénarios. Le premier, « Agrimonde 1 », imagine un système alimentaire et agricole qui se veut durable à l'horizon 2050, afin d'en explorer les conditions de réalisation, les dilemmes et les principaux défis. Le second, « Agrimonde GO », davantage tendanciel, consiste en la traduction du scénario *Global Orchestration* du *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA) (MEA, 2005b) en un scénario agricole et alimentaire, alors que le MEA l'avait construit comme décrivant un des futurs possibles de la gestion des écosystèmes.

La construction de ces scénarios a servi de « prototype » à la mise au point d'une plateforme d'animation prospective présentée dans ce premier chapitre. La méthode d'animation de la réflexion prospective et de construction des scénarios est tout d'abord exposée ; son positionnement par rapport à d'autres approches des équilibres alimentaires à long terme est ensuite analysé.

Une plateforme fondée sur la complémentarité d'analyses quantitatives et qualitatives

Agrimonde repose sur l'animation d'un collectif d'experts, appelé ici groupe de travail, qui vise la confrontation de points de vue et d'expertises divers, porteurs d'une variété de visions pour l'avenir, afin de permettre *in fine* la construction collective de scénarios contrastés.

La réflexion s'est centrée sur les enjeux relatifs au système agricole et alimentaire mondial, qui peuvent se résumer au défi que représente l'objectif de nourrir correctement

une population de neuf milliards d'individus en 2050 tout en préservant les écosystèmes, desquels d'autres services sont aussi attendus : agroénergies, biodiversité, stockage de carbone, régulation climatique... Les variables à considérer, quand on analyse cette question, sont extrêmement nombreuses et diverses. Elles sont de natures géopolitique, sociale, culturelle, sanitaire, économique, agronomique, écologique, technologique, etc. En outre, l'échelle planétaire à laquelle cette question se pose ne dispense pas d'une réflexion sur le plan régional, tant la diversité des alimentations et des agricultures du monde et leurs interactions, au travers des échanges ou des changements environnementaux globaux, sont des variables clés pour l'avenir.

Étant donné le nombre et la diversité des variables et l'importance de l'articulation des échelles géographiques d'analyse, il a fallu adapter les méthodes existantes de construction de scénarios[1] en construisant une plateforme reposant sur la complémentarité d'analyses quantitatives et qualitatives. La formulation de jeux d'hypothèses quantitatives au niveau régional sur un nombre restreint de variables (celles du module quantitatif Agribiom, page 25) a permis de réduire la complexité tout en fournissant un point d'entrée à une réflexion qualitative, qui envisage l'ensemble des dimensions du système. Ces dimensions ont été structurées sur la base d'une analyse morphologique du système agricole et alimentaire mondial. La grille qui en résulte (Tableau 1.1) souligne la nature systémique des agricultures et alimentations du monde ; elle est un outil important pour tester et construire la cohérence des scénarios.

La construction de scénarios Agrimonde procède finalement en trois grandes étapes (Figure 1.1) :

- choisir les scénarios et leurs principes de construction ;
- construire les scénarios quantitatifs ;
- compléter les scénarios quantitatifs par des hypothèses qualitatives d'évolution sur les autres dimensions et variables.

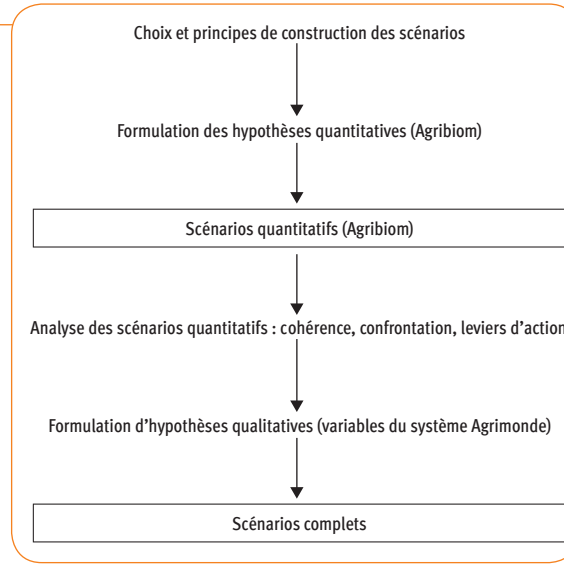
Le groupe de travail commence donc par choisir les scénarios et leurs principes de construction, c'est-à-dire les traits saillants des scénarios (s'agit-il de construire un scénario tendanciel du point de vue des consommations alimentaires ou, au contraire, en rupture de ce point de vue ? S'agit-il d'imaginer un scénario caractérisé par une crise, énergétique par exemple ? etc.). L'horizon temporel et le découpage géographique en régions sont définis à ce stade, en fonction des objectifs de l'exploration prospective. Afin de faciliter le dialogue entre l'exercice Agrimonde et les travaux du MEA, l'horizon temporel et le zonage géographique de ce dernier ont été retenus dans le cadre de la construction des scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO.

1. La méthode française classique des scénarios repose par exemple sur une première étape de recension la plus exhaustive possible des variables susceptibles d'influencer l'avenir du système étudié à l'horizon temporel retenu pour la prospective. Elle s'avère peu appropriée car il n'est guère envisageable de combiner des hypothèses d'évolution sur l'ensemble des variables aux échelles régionale et mondiale. Pour des précisions sur la méthode française classique des scénarios, voir par exemple de Jouvenel, 1999.

Tableau 1.1. Variables du système Agrimonde.

1. Contexte mondial		Population Urbanisation et exode rural Croissance économique Progrès des connaissances Répartition des revenus Prix agricoles
2. Régulations internationales		Relations politiques internationales Organisation du commerce international Accords internationaux sur le climat Accords internationaux sur la biodiversité Gouvernance et gestion des risques sanitaires Gouvernance et gestion des ressources marines Transfert de capitaux Nord-Sud
3. Dynamiques de la production agricole		Surfaces de production Investissements dans les exploitations agricoles Investissements dans les infrastructures et biens publics Formes sociales de production Techniques de production Transformation (Industries agroalimentaires) : organisation et technologies de production
4. Dynamiques de la consommation de biomassse		Pratiques de consommation et régimes alimentaires Sensibilité de la société aux questions sanitaires Sensibilité de la société aux questions environnementales Consommation de biomasse pour la production d'énergie Consommation de biomasse pour la production de biens industriels
5. Stratégies des acteurs	Stratégies des États	Politiques agricoles Politiques sanitaires et nutritionnelles Politiques énergétiques Politiques environnementales
	Stratégies des acteurs privés	Rôle des organisations professionnelles agricoles Stratégies des firmes multinationales Rôle des ONG (organisations non gouvernementales)
6. Connaissances et technologies dans le champ de l'agriculture et de l'alimentation		Investissements dans la recherche-développement publique et privée Objectifs des innovations Statut du vivant dans les droits de propriété intellectuelle Orientations de la recherche agronomique Formation des agriculteurs Lieux et acteurs de l'innovation et de sa diffusion
7. Développement durable	Ressources naturelles	Conservation de la biodiversité Emissions de gaz à effet de serre et climat Fertilité des sols Eau (disponibilité et qualité)
	Équité sociale	Satisfaction des besoins essentiels (alimentation, santé, emploi, éducation) Qualité de vie : lieux de vie, culture, relations sociales

Figure 1.1. Les étapes de la construction des scénarios.



Le groupe de travail formule ensuite des hypothèses quantitatives en donnant une valeur à chacune des variables à l'horizon temporel retenu pour chacune des régions considérées. Ces variables permettent de calculer pour chaque zone, et pour le monde, les ressources alimentaires et leurs emplois. Cette construction se fonde sur des analyses rétrospectives et donc sur les tendances passées, puisque les variables à quantifier sont renseignées dans Agribiom sur plusieurs décennies passées. Elle mobilise aussi l'expertise des membres du groupe de travail, qui analysent et discutent des travaux académiques et prospectifs permettant d'explorer les possibilités de ruptures et, *in fine*, des futurs contrastés.

Les hypothèses à formuler pour évaluer l'emploi des biomasses concernent avant tout l'effectif des populations humaines, leurs régimes alimentaires en calories, et la composition de ces régimes selon l'origine des calories (végétale, animale terrestre, aquatique). Pour les ressources, les hypothèses à formuler portent essentiellement sur l'occupation des terres (surfaces en cultures alimentaires et non alimentaires, pâtures, forêts…), la productivité en calories végétales des espaces cultivés, et le processus de conversion des calories végétales en calories animales.

Le module Agribiom permet ensuite de tester si les bilans des ressources et des emplois régionaux (excédentaires ou déficitaires selon les cas) s'équilibrent au niveau mondial, ceci en incluant les quantités de biomasses végétales nécessaires pour les productions alimentaires d'origine animale. Le cas échéant, des hypothèses sont formulées sur les

échanges entre régions. Sinon, le groupe révise certaines de ses hypothèses jusqu'à ce qu'emplois et ressources de biomasses alimentaires (végétales, animales…) s'équilibrent à l'échelle mondiale.

Les ensembles formés par les hypothèses quantitatives et les bilans des ressources et des emplois correspondants constituent les scénarios quantitatifs. Le groupe de travail les complète par des hypothèses qualitatives. La complémentarité des analyses quantitatives et qualitatives joue tout au long du processus de construction des hypothèses quantitatives. En effet, en formulant des hypothèses sur les régimes alimentaires, les usages des surfaces, les rendements ou les échanges entre régions, les experts sont amenés à en analyser toutes les implications et à enrichir des hypothèses de base quantitatives par un ensemble d'hypothèses qualitatives (Tableau 1.1). Plus précisément, les scénarios quantitatifs sont analysés pour chaque région et au niveau mondial selon trois types de questionnement :

- le scénario quantitatif pour telle région est-il cohérent avec les principes de construction posés au départ pour ce scénario ? Quelles hypothèses qualitatives faut-il faire pour qu'il le soit ?
- que nous apprend la confrontation des différents scénarios ? Sont-ils contrastés ? Quelles hypothèses qualitatives faut-il faire pour qu'ils racontent des histoires du futur distinctes les unes des autres ?
- quels sont les principaux enjeux de ce scénario ? Quels leviers faudrait-il actionner pour qu'il se réalise ? Quelles hypothèses qualitatives faut-il faire pour intégrer ces leviers au scénario ?

Cette analyse permet d'envisager des hypothèses qualitatives sur chacune des variables du système Agrimonde et d'aboutir à des scénarios complets.

Une approche complémentaire d'autres prospectives mondiales

Dans l'objectif d'explorer l'avenir à long terme des systèmes agricoles et alimentaires mondiaux, la plateforme Agrimonde est complémentaire d'approches déjà existantes, notamment les deux suivantes :

- des exercices d'anticipation des possibilités d'augmentation de la production agricole mondiale face à la croissance des populations et de leurs demandes qui sont régulièrement menés depuis la création de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Ces exercices conduisent à débattre des bilans des ressources et des emplois aux échelles régionale et mondiale, ce à quoi s'exerce également Agrimonde ;
- des exercices de modélisations économiques sectorielles à long terme, comme ceux de l'*International Food Policy Research Institute* (IFPRI) qui sont couplés ou intégrés à d'autres modèles pour explorer des scénarios mondiaux comme ceux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (IPCC, 2000). Ces scénarios

mondiaux forment aujourd'hui une famille d'exercices de référence (par exemple, *World Water Vision* [Cosgrove et Rijsberman, 2000], *Millennium Ecosystem Assessment* [MEA, 2005b], *Global Environmental Outlook* [UNEP, 2007]) qu'Agrimonde peut contribuer à discuter, notamment en proposant des options non encore explorées en matière agricole ou alimentaire.

Un ensemble de scénarios quantifiés sur l'avenir de l'agriculture et sur les équilibres alimentaires mondiaux à long terme

La comparaison entre le potentiel de production de biomasse et les besoins additionnels liés à la croissance démographique future constitue une question ancienne mais fondamentale pour la réflexion sur l'avenir de l'agriculture. La question malthusienne initiale confronte une croissance exponentielle des besoins alimentaires à une croissance seulement linéaire des rendements agricoles. Elle s'est largement complexifiée par des analyses sur les capacités de production agricole et le rôle qu'y joue le progrès technique.

Une revue de ces travaux a été effectuée par la FAO et l'IFPRI et met en évidence deux types d'approches (Mc Calla et Revoredo, 2001) :

- les premières approches sont qualifiées de « néo-malthusiennes ». Du rapport Meadows au Club de Rome (Meadows *et al.*, 1972) aux travaux plus récents de Lester Brown (Brown, 1995), elles s'attachent à souligner les problèmes que pose la croissance de la demande face aux limites des ressources naturelles disponibles à moyen ou long terme ;
- d'autres approches visent plutôt à mettre en évidence quelles sont les contraintes à lever pour poursuivre l'augmentation de la production agricole, avec des projections tendancielles régulièrement mises à jour par la FAO (FAO, 2003a), et des évaluations de potentiel maximal de productions agricoles (par exemple Luyten, 1995) que l'on doit chercher à atteindre en levant des obstacles d'ordre technique ou socio-économique (Koning *et al.*, 2008).

Dans ce cadre d'analyse, deux exercices ont été déterminants pour la conception des deux scénarios d'Agrimonde : l'exercice de Philippe Collomb (Collomb, 1999) et celui de Michel Griffon (Griffon, 2006). Dans les deux cas, l'accent est mis non seulement sur la couverture mondiale des besoins par les ressources, mais aussi sur les capacités régionales à couvrir les besoins régionaux. Dans les deux cas également, l'évaluation des potentiels d'augmentation de la production vise à estimer non seulement les capacités des régions et du monde à couvrir des besoins alimentaires, mais aussi la capacité des systèmes agricoles à participer à l'effort de réduction de la pauvreté.

La plateforme Agrimonde se situe dans la lignée de ces exercices qui traitent des données agrégées par grandes régions du monde, et dont l'apport consiste à tirer des enseignements d'une évaluation des équilibres entre ressources et emplois aux échelles mondiale et régionale.

La conception d'ensemble de la plateforme Agrimonde vise à faciliter l'exploration de nouveaux scénarios, plus ou moins tendanciels ou plus ou moins en rupture, de manière

transparente grâce au module quantitatif Agribiom dont l'architecture et les spécificités sont présentées au chapitre 2. Ces évaluations quantitatives ne permettent pas, bien sûr, d'accéder à la complexité territoriale des systèmes de production agricole dans les différentes régions du monde, qu'il s'agisse de leur complexité technique, mais aussi organisationnelle et socio-économique. Ces travaux quantitatifs ne sont pas conçus pour représenter l'ensemble des enjeux en matière d'agriculture et d'alimentation. Ils laissent donc ouvertes d'importantes dimensions qualitatives (systèmes d'exploitation agricole, territoires, politiques publiques…) qui doivent être étudiées pour correctement explorer des scénarios futurs d'agriculture et d'alimentation.

Une généalogie de scénarios mondiaux et de modélisations intégrées sur les ressources naturelles

Depuis les quatre familles de scénarios du GIEC, en passant par les scénarios de la *World Water Vision*, du *Global Environment Outlook*, et jusqu'aux scénarios du MEA, une famille de scénarios mondiaux de référence est en train d'émerger, construits les uns par rapport aux autres et avec les mêmes outils de modélisation intégrée (ce sont les modèles IMAGE[2], IMPACT[3], WaterGAP[4]). Ces scénarios présentent la qualité principale d'intégrer et d'articuler des scénarios socio-économiques d'émissions de gaz à effet de serre et leur traduction en impacts sur les changements climatiques, avec des modélisations des conséquences de ces impacts sur les ressources et les activités envisagées, par exemple l'agriculture. Le modèle IMPACT est un modèle d'équilibre sur les marchés agricoles pour un ensemble de produits clés. Il permet de simuler à long terme (2025, 2050) les équilibres et les prix sur les marchés agricoles et de tenir compte des substitutions possibles, selon un certain nombre d'hypothèses sur les capacités de production, issues des travaux de projection de la FAO le plus souvent (Rosegrant *et al.*, 2001). Le modèle IMAGE développe de son côté des représentations des changements d'occupation des sols.

Avec ces scénarios de référence, on cherche essentiellement à explorer quatre images contrastées de ce que pourraient être les états socio-économiques et géopolitiques du monde en 2050 ou jusqu'à 2100 (Encadré 4.1, Figure 4.1). Ces états contrastés sont

2. IMAGE est un modèle intégré permettant de représenter les conséquences environnementales des activités humaines à l'échelle mondiale. Développé aux Pays-Bas par le Rijks Instituut voor Volksgezondheid en Milieu (Institut national néerlandais pour la santé publique et l'environnement) et le Milieu en Natuur Planningbureau (Agence néerlandaise d'évaluation environnementale), il est au centre de modélisations intégrées utilisées par le GIEC, mais aussi par le MEA.

3. Le modèle IMPACT (International Model for Policy Analysis of Agricultural Commodities and Trade) est un modèle d'équilibre sur les marchés agricoles. Ce modèle, proposé par l'IFPRI, a été utilisé pour les rapports du GIEC, de la *World Water Vision* en 2000, et du MEA, ainsi que dans l'exercice *International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development* (IAASTD).

4. Le modèle WaterGAP permet de représenter l'impact de scénarios socio-économiques en termes de demandes en eau et donc de pression sur les ressources en eau par grands bassins versants à l'échelle de la planète. Il a été construit par le Centre for Environmental Studies and Research (CESR) de l'Université de Kassel et a été utilisé dans le cadre de la *World Water Vision*, puis pour le MEA, notamment.

distingués suivant deux axes : le premier axe représente d'un côté, des mondes où l'économie est globalisée et, de l'autre, des mondes où elle est régionalisée ; le second axe représente le mode de gestion de l'environnement naturel par les sociétés, avec à une extrémité une gestion préventive, à l'autre une gestion curative (i.e. intervention après émergence d'une crise environnementale).

Les quatre grandes esquisses du monde ainsi formulées sont ensuite traduites en paramètres d'entrée de modèles intégrés qui assurent, entre autres, la cohérence de grandes variables macro-économiques, et la simulation des impacts de ces scénarios socio-économiques sur le climat, les écosystèmes, ou les ressources naturelles. Cette approche présentée sous la dénomination de *« story and simulation »* (EEA, 2001) consiste donc à coupler l'élaboration de scénarios qualitatifs en amont et de modélisations intégrées en aval pour décrire des mondes possibles.

Mettre en œuvre ces approches de modélisations prospectives intégrées pour représenter d'autres scénarios que ceux appartenant aux quatre grandes familles de référence permettrait d'explorer de nouvelles questions, ou bien des problématiques spécifiques à un champ particulier, par exemple celui de l'agriculture. Cependant, cette architecture de modélisation intégrée est complexe et rassemble un nombre important d'équipes de modélisation. Toute modification des scénarios d'entrée supposerait un nouveau cycle de travaux de modélisation. C'est pourquoi, jusqu'à maintenant, le choix a été fait de s'en tenir à ces quatre familles de référence. Pourtant, dans le cadre de l'*International Assessment of Agricultural Science and Technology for Development* (IAASTD), les groupes de travail ont contesté le choix de travailler à partir des quatre familles de référence, notamment parce que celles-ci n'étaient pas adaptées à l'analyse des enjeux des systèmes agricoles et alimentaires.

Agrimonde constitue une tentative méthodologique complémentaire de ces exercices de modélisations prospectives intégrées. Il permet d'explorer plus rapidement la cohérence en ordres de grandeur des hypothèses quantitatives formulées dans les scénarios, et invite à centrer une part importante du travail sur la discussion de l'ensemble des hypothèses qualitatives et sur leur cohérence. Cette démarche permet la formulation de scénarios alternatifs par rapport aux scénarios de référence. Elle pourrait aussi permettre à des acteurs émergents (ONG, associations de défense de l'environnement, etc.) de proposer à la discussion de nouveaux scénarios, traduisant leur perception des enjeux. En ce sens, Agrimonde vise à fournir une plus grande capacité de générer des scénarios cohérents, avant qu'ils puissent faire l'objet d'autres modélisations.

2 - Agribiom : un module quantitatif rétro-prospectif

Bruno Dorin et Tristan Le Cotty

Agribiom est un outil quantitatif consacré à l'analyse des productions, des échanges et des usages mondiaux de biomasses. Sa construction a débuté en 2006 au CIRAD pour servir des exercices collectifs de prospective tels qu'Agrimonde, ainsi que des travaux de modélisation hybride.[5, 6]

L'équilibre physique (passé ou futur) entre emplois et ressources de biomasses alimentaires constitue, pour l'heure, le cœur et le moteur d'Agribiom. De tels équilibres peuvent désormais être reconstitués (des années 1960 à nos jours) ou simulés à diverses échelles géographiques (d'un pays à l'ensemble du monde), selon des unités de volume, des structures de bilan et des catégories de produits choisis et réfléchis pour :

- disposer d'un outil d'analyses rétrospectives et de simulations prospectives suffisamment simple, englobant, robuste et transparent pour interpeller et faire dialoguer une large variété d'expertises autour des questions de production, d'échange et de consommation de biomasse à l'échelle mondiale ;
- fédérer et générer un ensemble de données permettant de développer des analyses et des modélisations nouvelles, notamment dans des domaines et à des échelles ou l'information statistique et la modélisation montrent des insuffisances (par exemple : conversion des biomasses végétales en biomasses animales aux échelles nationales) ;
- caractériser des grands modes de production et de consommation des biomasses alimentaires, et relier la spécificité de ceux-ci (observés ou simulés) à des données, à des modélisations ou à des débats relatifs à la sécurité alimentaire, à la pauvreté, aux demandes de produits agricoles non alimentaires (biocarburants, biomatériaux…), au développement et aux échanges économiques entre nations, aux prélèvements et aux prix des ressources minières ou naturelles, à l'émission et au stockage des gaz à effet de serre, à la préservation des services rendus par les écosystèmes, etc.

5. Notamment des travaux conduits avec le CIRED (Centre international de recherche sur l'environnement et le développement) en coopération avec le CFE (Conseil français de l'Énergie) sur le thème « Compétition énergie-alimentation dans l'usage des sols » (Dorin *et al.,* 2009 ; Dorin et Gitz, 2008).

6. Une modélisation hybride consiste à coupler des modèles économiques à des modèles en données physiques et technologiques. (NDLR : note de l'éditeur).

Pour remplir ces fonctions, Agribiom est structuré en quatre chantiers :
- 1) réunir, vérifier et relier, sur plusieurs décennies passées, des millions de données relatives aux productions, aux échanges et aux usages nationaux de produits agricoles et alimentaires ;
- 2) élaborer, avec ces données de base, de nouvelles séries de données permettant des observations et des modélisations nouvelles ;
- 3) construire une interface permettant d'exposer à un public varié (chercheurs, experts, responsables politiques…) ces données et ces modèles, pour les discuter, puis simuler et débattre des scénarios d'équilibre ressources-emplois de biomasses alimentaires ;
- 4) interagir avec d'autres travaux quantitatifs, notamment des modèles d'équilibre général calculable[7] et des modèles biophysiques.

Ce chapitre expose les avancées effectuées au niveau des trois premiers chantiers. Le chapitre 3 décrira et commentera des résultats d'Agribiom en rétrospectif, et dans les chapitres suivants seront présentées des simulations effectuées pour Agrimonde avec les hypothèses et interprétations associées à ces simulations.

Organisation générale des traitements

POUR REMPLIR LES OBJECTIFS POURSUIVIS EN TERMES DE RÉTROSPECTIVES HISTORIQUES, de production de nouvelles séries statistiques, de modélisations, de simulations d'équilibres physiques de ressources et d'emplois de biomasses, de communication avec divers expertises ou modèles, Agribiom est alimenté en amont par un grand nombre de données historiques (plus de 30 millions de valeurs non redondantes courant 2008). La chaîne de traitement de cette masse d'informations est symbolisée en figure 2.1. Elle mobilise les logiciels SAS® et Microsoft Access® pour permettre :
- une traçabilité des opérations et des calculs mis en œuvre grâce à un agencement de programmes SAS entre des fichiers de données brutes aux structures et formats variables (xls, csv, txt…) et les bases et modèles élaborés pour l'exercice ;
- la convergence de ces bases et de ces modèles vers une interface construite sous Access (système de gestion de base de données avec programmes SQL) pour visionner et exploiter ces derniers à de multiples échelles possibles de régionalisation du monde.

Couvertures temporelle et géographique

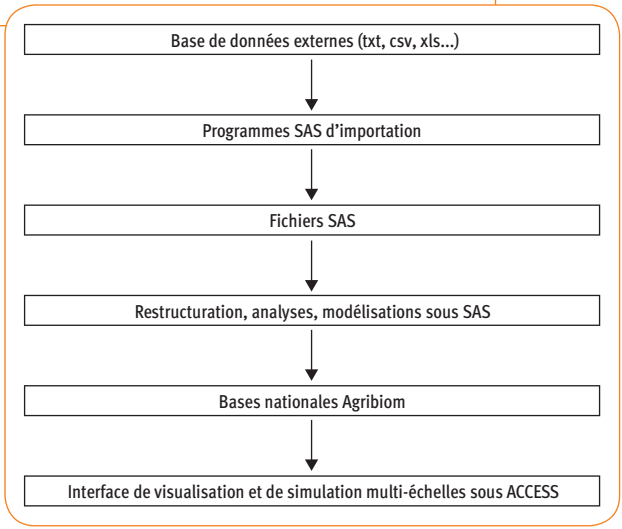
LE SERVICE FAOSTAT DE LA FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture) regroupe, harmonise et diffuse un grand nombre de données nationales

7. Il s'agit de modèles macroéconomiques (portant sur une économie dans son ensemble) et incluant toutes les activités, facteurs et institutions de production et donc tous les marchés (NDLR).

relatives à l'alimentation et à l'agriculture, la FAO souhaitant couvrir l'ensemble des produits de l'agriculture utilisés par l'homme (et pas seulement ceux qui font l'objet d'importantes transactions commerciales entre nations) ainsi que l'ensemble des pays (et pas seulement ceux dotés de moyens et compétences suffisamment élevés pour fournir des statistiques détaillées et de qualité). C'est à ces bases de données FAOSTAT que nous avons adossé l'essentiel de nos travaux, même si ces bases présentent des défauts en grande partie liés au souci d'exhaustivité mentionné plus haut. On peut aisément souligner ces défauts ; néanmoins, pour notre part, à la plus grande fiabilité de certaines bases centrées sur des périodes, produits ou régions – vision « microscope » – nous avons préféré le « macroscope », c'est-à-dire tenter d'embrasser du regard – et via la même lunette – les divers espaces d'un vaste paysage (géographique et historique), plutôt que concentrer l'éclairage sur quelques portions de cet ensemble. Cette focale d'observation, d'analyse et de modélisation est complémentaire d'autres ; elle permet d'accéder à une connaissance à laquelle d'autres ne peuvent accéder, et vice-versa.

L'amélioration de la fiabilité et de la cohérence des données FAOSTAT n'en demeure pas moins souhaitable, en plus de l'élargissement de ses données à des domaines pour lesquels il n'existe pas (ou plus) de séries structurées et harmonisées à l'échelle internationale (facteurs de production agricole en particulier). En juin 2006 d'ailleurs, alors que débute la prospective Agrimonde, la FAO s'engage dans une vaste

Figure 2.1. Structuration générale du traitement des données dans Agribiom.



et ambitieuse réforme visant à améliorer, en particulier, ses Comptes Disponibilité-Utilisation (CDU) et les données qui concourent à élaborer ces derniers. En 2007, elle abandonne pour cela des séries remontant à 1961 (FAOSTAT1), et en propose de nouvelles remontant à 1990 seulement (FAOSTAT2). Cette plus faible profondeur historique, couplée à d'autres motifs d'ordre plus technique (réorganisation des lignes de produits et de leur codage, du format des fichiers de base, du contenu des rubriques…), nous conduit à préférer utiliser les séries FAOSTAT1 déjà rapatriées (FAO, 2006). À la FAO cependant, FAOSTAT2 est abandonné début 2008 pour un retour vers FAOSTAT1. Cet intermède explique qu'à la fin de la même année, les CDU et bilans alimentaires de la FAO ne soient pas actualisés au-delà de 2003, tout comme l'essentiel de nos séries.

Entre 1961 et 2003, la superficie terrestre n'a pas changé contrairement au nombre de pays ou leurs frontières. Dans les séries FAOSTAT, on recense plus de 250 unités géographiques au cours de ces quatre décennies. Nous en avons retenu 149 (Annexe 1 page 241) après avoir écarté un grand nombre d'îles et de micro-États très mal ou très irrégulièrement renseignés, et quelques autres zones plus vastes mais présentant les mêmes lacunes statistiques : Afghanistan, Antarctique, Bhutan, Irak, Oman, Papouasie Nouvelle-Guinée, Sahara Occidental et Somalie)[8]. En 2000, cette sélection représente par rapport au total (hors Antarctique) de la FAO pour la même année (total FAO noté « Monde+ » ou « World+ ») :

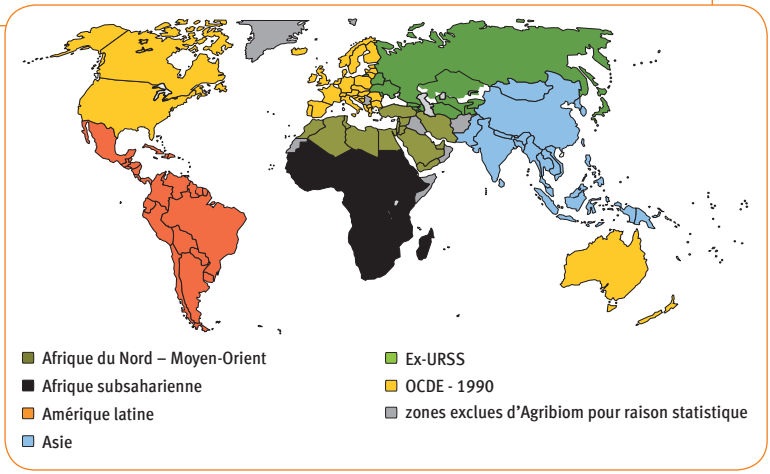
- 98,3 % des populations humaines (5 983,885 Mhab / 6 085,574) ;
- 98,6 % des terres cultivées (cultures et plantations) (1 512,948 Mha / 1 534,945) ;
- 97,3 % des surfaces terrestres (13 078,385 Mha / 13 443,345).

Notre total « Monde » sera donc calculé avec les entités définies ci-dessus, leur nombre variant selon l'année considérée : après 1991 par exemple, l'URSS est subdivisée en 15 nouvelles entités (Fédération de Russie, Ukraine…). Il en ira de même pour les totaux régionaux de tel ou tel zonage du monde. Pour la prospective Agrimonde, le zonage utilisé est celui du *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA) qui regroupe les pays (ou divise le monde…) en six régions (Figure 2.2). La répartition de nos entités dans les six régions du MEA est précisée en Annexe 1.

Ce zonage MEA délimite des régions jugées relativement homogènes suivant quelques indicateurs, alors que d'autres indicateurs pourraient montrer la diversité de leurs situations écologiques, socio-économiques ou encore historiques, avec des résultats variant suivant les unités géographiques utilisées pour l'analyse (districts, pays ou autre). Ces regroupements d'espaces et ces changements d'échelle d'analyse sont nécessaires, même s'ils posent diverses questions, dans l'estimation de certaines grandeurs comme dans l'élaboration et l'application de modèles.

8. La zone Belgique-Luxembourg a été conservée alors qu'à compter de l'année 2000, les séries relatives aux bilans alimentaires ne comptaient aucune donnée pour cet ensemble ou pour ces unités séparément (Belgique et Luxembourg). Cela a introduit de petits biais dans diverses évaluations.

Figure 2.2. Les six régions définies par *le Millennium Ecosystem Assessment* (MEA).



Source : d'après MEA (http://www.millenniumassessment.org/documents/document.774.aspx.pdf)
Afrique du Nord-Moyen-Orient, ANMO ; Afrique subsaharienne, ASS ; Amérique latine, AL.
Source cartographique : Articque

Populations humaines

Les données historiques annuelles par pays relatives aux populations humaines sont extraites de la série « PopStat » de FAOSTAT[9]. Cette série regroupe deux séries d'estimations de la Division Population de l'Organisation des Nations unies : les « *Population-Estimates 2004 rev.* » et les « *Population-Estimates 2006 rev.* ». Nous avons retenu la première série parce qu'elle décrit les populations qu'elle recense suivant le sexe (populations féminine / masculine), la zone d'habitation (populations rurale / urbaine)[10], le caractère agricole (populations agricole / non agricole)[11],

9. fichier nommé « PopSTAT-Annual-Time-Series 1 » en 2007-2008.

10 Glossaire FAOSTAT en ligne (2008) – Population rurale : reste de la soustraction de la population urbaine du total de la population. Population urbaine : *Usually the urban areas and hence the urban population are defined according to national census definitions which can be roughly divided into three major groups: classification of localities of a certain size as urban; classification of administrative centres of minor civil divisions as urban; and classification of centres of minor civil divisions on a chosen criterion which may include type of local government, number of inhabitants or proportion of population engaged in agriculture, as urban.*

11. Glossaire FAOSTAT en ligne (2008) – Population agricole : ensemble des personnes qui vivent de l'agriculture, de la chasse, de la pêche ou de la foresterie. Cette estimation comprend toutes les personnes exerçant une activité agricole ainsi que les inactifs à leur charge. Il ne s'agit pas nécessairement d'une population issue exclusivement de la population rurale.

le caractère « économiquement actif »[12]. La série « 2006 rev. » est bien moins étendue mais plus à jour (année 2006 pour la série « 2006 rev. » au lieu de l'année 2005 pour la série « 2004 rev. »). Dans leur compte, ces deux séries diffèrent sensiblement :

- en début de période (années 1960). Pour 1961, la population mondiale (agrégat « Monde+ » de la FAO), on obtient respectivement 3,081 et 2,804 milliards ;
- comme en fin de période (années 2000). Pour 2005, elle s'élève à 6,465 milliards d'individus avec la première série, à 6,515 avec la seconde.

Pour les projections de populations humaines à l'horizon 2050, deux sources de données par pays sont mobilisées :

- les projections du MEA suivant ses quatre scénarios *(Adapting Mosaic, Global Orchestration, Order from Strength, TechnoGarden)*, de 2000 à 2050 par tranche de cinq ans, suivant 21 classes d'âge (0-4 ans, 5-9 ans, etc.) ;
- les projections de l'Organisation des Nations unies mises en ligne courant 2007 sur le site UNSTATS[13], par année de 2006 à 2050, suivant quatre variantes de projection : haute *(High variant projection)*, basse *(Low variant projection)*, intermédiaire *(Medium variant projection)* et à fécondité constante *(Constant fertility scenario)*.

Notre espace géographique d'étude est plus réduit que la réalité, pour les raisons exposées précédemment, et conservé constant en rétrospectif comme en prospectif pour assurer la cohérence des calculs et autoriser des comparaisons sans biais dans le temps ; ceci conduit à des écarts d'estimations avec d'autres sources que mentionne le tableau 2.1.

Utilisation des terres

Les données historiques annuelles par pays relatives à l'utilisation générale des terres combinent trois séries de données FAOSTAT :

- [1] la série « Terres » (« *Land* ») dans son état de 2007[14] ;
- [2] la série « Terres » (« *Land* ») dans son état de 2006[15] ;

12. Deux définitions sont proposées dans la version française du glossaire FAOSTAT en ligne (2008) – Population économiquement active :

- ensemble des personnes employées (y compris les personnes ayant dépassé un certain âge et qui, au cours de la période de référence occupaient un emploi rémunéré, avaient un travail, étaient travailleurs indépendants ou avaient en emploi mais ne travaillaient pas) et les personnes sans emploi (y compris les personnes ayant dépassé un certain âge et qui, au cours de la période de référence, n'avaient pas d'emploi, étaient disponibles pour travailler et cherchaient du travail) ;

- ensemble des personnes occupées ou non (y compris celles qui recherchent du travail pour la première fois). Il recouvre les employeurs, les travailleurs indépendants, les employés salariés, les ouvriers salariés, les travailleurs non rétribués qui aident une famille ou travaillent dans une ferme ou un commerce, les membres des coopératives de producteurs, et les membres des forces armées. La population active est également appelée main-d'œuvre.

13. Série Population totale (UN Pop. Div. annual estimates and projections) [code 13660] téléchargée le 08/05/2007 à l'adresse http://unstats.un.org/unsd/cdb/cdb_advanced_data_extract.asp?srID=13660

14. Fichier « *RessourceSTAT-Land1.xls* »

15. Fichier « *9541E_0.csv* »

Tableau 2.1. Variations d'estimation des populations humaines mondiales (2000 et 2050).

Année	Source	Total pays – population (millions hab.)		Écart	
		Source FAOSTAT, UNSTAT, MEA	Agribiom	(millions hab.)	(%)
2000	FAOSTAT - Estimations 2006 Rev.	6 124	5 984	140	2,3
	FAOSTAT - Estimations 2004 Rev.	6 086	5 984	102	1,7
	UNSTAT, 2007 - Code 13660	6 086	5 984	102	1,7
2050	MEA, 2005 - Scenario GO	8 085	7 872	213	2,6
	MEA, 2005 - Scenario TG	8 812	8 578	234	2,7
	MEA, 2005 - Scenario AM	9 514	9 265	250	2,6
	MEA, 2005 - Scenario OS	9 559	9 303	256	2,7
	UNSTAT, 2007 - Scénario Variante basse	7 667	7 440	227	3,0
	UNSTAT, 2007 - Scénario Variante intermédiaire	9 060	8 800	260	2,9
	UNSTAT, 2007 - Scénario Variante haute	10 627	10 330	297	2,8
	UNSTAT, 2007 - Scénario Fertilité constante	11 634	11 245	389	3,3

Scénarios : GO, Global Orchestration ; TG, TechnoGarden ; AM, Adaptating Mosaic ; OS, Order from Strengh.

- [3] la série « Surfaces irriguées » dans son état de 2006[16].

La série [1] actualise jusqu'en 2005 des données FAO sur l'usage des sols qui distinguent six catégories :

- les cultures annuelles (dénommées « Terres arables », « *Arable land* »)[17] ;
- les plantations (« Cultures permanentes », « *Permanent crops* »)[18] ;

16. Fichier « *9542E_0.csv* »

17. Glossaire FAOSTAT en ligne (2008) – Terres arables : les terres arables sont les terres affectées aux cultures temporaires (les superficies récoltées deux fois n'étant comptées qu'une fois), prairies temporaires à faucher ou à pâturer, jardins maraîchers ou potagers et terres en jachères temporaires (moins de cinq ans). Les terres abandonnées à la suite de cultures itinérantes ne figurent pas dans cette catégorie. Les données relatives aux terres arables n'ont pas pour objet d'indiquer la quantité des terres potentiellement arables.

18. Glossaire FAOSTAT en ligne (2008) – Cultures permanentes : elles sont semées ou plantées une fois, puis occupent le terrain pendant quelques années et ne doivent pas être replantées après chaque récolte annuelle, comme le cacao, le café et le caoutchouc. Cette catégorie comprend les arbustes destinés à la production de fleurs, les arbres fruitiers et les vignes, mais non les arbres destinés à la production de bois ou de grumes.

- les pâtures (« Prairies et pâturages permanents », « *Permanent meadows and pastures* »)[19] ;
- les forêts (« Forêts », « *Forests* »)[20] ;
- les autres terres émergées (« Autres terres », « *Other land* ») ;
- les lacs, rivières et autres terres immergées (« Eaux intérieures », « *Inland water* »).

Le total de ces surfaces doit en principe égaler la « superficie totale du pays » (Tableau 2.2) par ailleurs renseignée (avec d'autres agrégats intermédiaires de type « Surfaces agricoles »).

Avec la diffusion de la série [1], FAOSTAT ajoute de nouvelles et importantes rubriques (« Jachères », « Prés et pâturages temporaires »…). Mais celles-ci ne sont qu'exceptionnellement renseignées, ou insuffisamment actualisées jusqu'en 2005 pour les surfaces irriguées : ces dernières ont été importées de l'ancienne série [3] couvrant la période 1961-2003. La série [1] propose également de nouvelles estimations pour les surfaces en forêts, sans néanmoins remonter au-delà de 1990 : avant cette date, les données de la série [2] ont été importées, et la surface « Autres terres émergées » ajustée de manière à ce que la somme des utilisations ne dépasse pas la superficie totale du pays. Enfin, cette série [1] ne corrige pas certaines lacunes, erreurs et incohérences constatées les années précédentes dans cette série sur l'usage des terres[21] : nous avons été amenés à effectuer nous-mêmes quelques corrections pour lisser certaines séries.

Dans la suite des travaux, les surfaces de cultures annuelles et pérennes (plantations) ont été fondues en une seule catégorie, les « surfaces cultivées », au sein desquelles nous distinguons, pour les simulations, les « surfaces cultivées non alimentaires » (SCNA : caoutchouc, tabac, fibres, eucalyptus, …) – qui peuvent être importantes à l'avenir – et les « surfaces cultivées alimentaires » (SCA). Nous avons considéré ces SCNA comme nulles jusqu'au début des années 2000 bien qu'elles ne le soient pas[22], pour une raison principale, et plus générale : nous nous sommes résolus à ne pas utiliser les « surfaces récoltées » par culture telles que renseignées dans les séries FAO « ProdSTAT » parce que nos tentatives de rapprochement avec les surfaces nettes cultivées de la série [1] ont fourni des résultats trop fréquemment étonnants ou incohérents.

19. Glossaire FAOSTAT en ligne (2008) – Prairies et pâturages permanents : ce sont les terres consacrées de façon permanente (cinq ans au minimum) aux herbacées fourragères, cultivées ou sauvages (prairies sauvages ou pâturages). La limite entre cette catégorie et la catégorie « Forêts et terrains boisés » n'est pas très nette, en particulier pour les zones arbustives, la savane, etc., qui peuvent avoir été prises en compte dans une catégorie ou dans l'autre.

20. Glossaire FAOSTAT en ligne (2008) – Forêts et terres boisées : toute terre portant des peuplements naturels ou artificiels d'arbres, qu'ils soient productifs ou non. Cette catégorie comprend les terres déboisées dont le reboisement est envisagé dans un proche avenir mais non les forêts ou les terres boisées réservées aux loisirs. La question des zones arbustives, de la savane, etc., pose le même problème que dans la catégorie « Prairies et pâturages permanents ».

21. La superficie de l'Espagne diminue puis augmente entre 1990 et 2003, la superficie du Groenland augmente de 6,9 millions d'hectares entre 1996 et 1997…

22. En 2003, selon la FAO, à l'échelle mondiale (Monde+ / World+), les surfaces récoltées (brutes) en fibres, caoutchouc et tabac totalisaient un peu plus de 46 millions d'hectares qui, ramenées à une surface cultivée nette de 1 552, représentent 3 %.

Enfin, les données nationales annuelles relatives aux côtes et aux surfaces maritimes (années 1990 à 2000 selon les cas) ont été importées d'une base élaborée par l'Université de Hambourg. Cette base – disponible un temps sur le site de l'Université (www.fnu.zmaw.de) – compilait des données de diverses origines (*World Resources Institute*, *CIA World Fact Book*, *Delft Hydraulics*, *Gallup and Sachs*...) dont « *The Global Maritime Boundaries Database* (*GMBD*) » pour les surfaces en plateau continental.

Tableau 2.2. Variations d'estimation de l'utilisation des surfaces terrestres mondiales (2003).

Catégories de surfaces		Total pays-surfaces (1000 ha)		Écart	
		Données FAOSTAT (Monde+ / World+)	Agribiom	(1000 ha)	(%)
(1) Cultures et plantations	Total	1 551 518	1 529 043	22 475	1,4
	Cultures annuelles *(Arable land)*	1 413 002	1 392 951	20 052	1,4
	Plantations *(Permanent crops)*	138 516	136 093	2 423	1,7
	Superficie irriguée *(Total area equipped for irrigation)*	276 500	270 273	6 227	2,3
(2) Pâtures *(Permanent meadows and pastures)*		3 415 704	3 325 988	89 716	2,6
(3) Forêts *(Forest area)*		3 966 660	3 904 776	61 883	1,6
(4) Autres terres émergées *(Other land)*		4 078 908	3 891 722	187 186	4,6
(5) Eaux intérieures *(Inland water)*		429 780	426 910	2 870	0,7
Total (1) + (2) + (3) + (4)		13 012 789	12 651 530	361 260	2,8
Superficie émergée *(Land area)*		13 013 621	12 651 530	362 091	2,8
Total (1) + (2) + (3) + (4) + (5)		13 442 569	13 078 440	364 130	4,6
Superficie totale *(Country area)*		13 443 401	13 078 440	364 961	2,7

Potentiels cultivables

À LA FIN DES ANNÉES 1990, l'ambition de la FAO et de l'*International Institute for Applied Systems Analysis* (IIASA), via Fischer *et al.* (2001, 2000, 2002), a été de procéder à une nouvelle évaluation des potentiels mondiaux de production agricole en valorisant des avancées récentes en images satellitaires et techniques SIG (systèmes d'information géographiques). Cette démarche, *Global Agro-Ecological Zones* (nommée GAEZ), s'est

appuyée sur les *Agro-Ecological Zones* (AEZ) qui, faisant l'objet de travaux divers depuis 20 ans, s'efforcent d'identifier et de caractériser les zones de climats, de sols et de terrains plus ou moins propices aux productions agricoles.

La méthode GAEZ consiste, *grosso modo*, à adapter puis à croiser, sur les cellules d'une grille géographique beaucoup plus fine que l'échelle nationale (i.e. des « carrés » de quelques kilomètres de côté), deux types de données, sur les milieux agroécologiques d'une part, les utilisations possibles des terres d'autre part.

Données sur les milieux agroécologiques

Ces données portent sur :

- le climat (données/modèle CRU à 30 minutes[23] de latitude/longitude, avec la moyenne 1961-1990 pour le climat dit « de référence », et les données du GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] pour les scénarios climatiques) ;
- le type de sol (base de données FAO/UNESCO DSMW sur 2,2 millions de cellules de 5 minutes de latitude/longitude) ;
- la pente (modèle numérique d'élévation GTOPO30 à 30 arc-seconde de latitude/longitude) ;
- l'occupation « actuelle » des terres (12 types « agrégés » d'occupation issus de la cartographie GLCC à 30 arc-seconde de latitude/longitude effectuée à partir d'images satellites prises vraisemblablement en 1992/1993).

Données sur de possibles utilisations des terres

L'approche GAEZ identifie et caractérise 462 types d'utilisation des terres[24] *(Land Utilization Types)* qui combinent :

- 154 productions agricoles incluant quelques fourrages et pâtures, ou plutôt 27 espèces déclinées en divers sous-types affiliés à une zone climatique, notamment 8 céréales (83 sous-types : 4 blés hibernants, 12 blés non hibernants, 13 maïs grain et 6 maïs ensilage, etc.), 3 racines ou tubercules (8 sous-types : 4 pommes de terre, 1 manioc, 3 patates douces), 3 pois et lentilles (17 sous-types), 6 oléagineux (25 sous-types, dont 1 palmier et 1 olivier), 1 fibre (7 sous-types de cotonnier), 2 cultures sucrières (6 sous-types : 1 canne à sucre et 5 betteraves sucrières), 1 fruit (banane, plantain) et 3 fourrages (5 sous-types : 1 luzerne, 4 pâtures de graminées, 4 pâtures de légumineuses) ;
- 3 degrés d'intensification (d'inputs), successivement baptisés « bas » (agriculture de subsistance : pas d'utilisation d'engrais chimiques, de pesticides ou de semences améliorées),

23. 1 degré (60 minutes) à l'Équateur équivaut environ à 111 km ; 30 arc-seconde = 1 minute = 1,854 km à l'Équateur.

24. Chaque *Land Utilization Type* (LUT) est référencé sur divers critères : type de plante (C_3, C_4...), durée du cycle de production, période de prédormance et postdormance, indice foliaire maximum, rendement potentiel, étapes critiques de croissance / besoins minimum en eau, facteurs de limitation des rendements, indice de récolte, taux d'extraction, contenu nutritionnel, taux d'utilisation des coproduits et résidus, etc.

« intermédiaire » (utilisation de certains inputs « modernes » et mécanisation partielle) et « haut » (type « agriculture commerciale d'Europe de l'Ouest ou d'Amérique du Nord »).

Le croisement de ces deux ensembles de données conduit, au niveau de chaque cellule de la grille géographique considérée, à d'abord calculer un rendement potentiel (de biomasse et de produit récolté) sans autre contrainte que la température et le rayonnement solaire, puis à réviser ce rendement en fonction, successivement :

- des contraintes dites « agroclimatiques » (précipitations, essentiellement), ce qui conduit alors à distinguer les cultures pluviales *(rainfed)* des cultures irriguées (sans présumer des réelles disponibilités en eau et de la qualité de cette dernière) ;
- des contraintes dites « de sol et de terrain », incluant notamment la pente (qui limite l'intensification des productions par mécanisation, irrigation…) et les besoins en jachères (pour assurer une fertilité à long terme des sols dans le milieu considéré), ce qui conduit alors à distinguer les potentiels suivant les trois niveaux d'intensification mentionnés précédemment (bas, intermédiaire et haut).

L'ensemble conduit ainsi à évaluer, en équivalents surface, quatre gradients de potentiels par culture (blé, riz, etc., et quelques catégories agrégées, dont « cultures céréalières » et « toutes les cultures »), par niveau d'intensification (bas, intermédiaire et haut), et par utilisation ou non d'irrigation (du moins pour les niveaux d'inputs intermédiaire et haut) : VS (très propice, *very suitable*), S (propice, *suitable*), MS (moyennement propice, *moderately suitable*) et mS (peu propice, *marginally suitable*), ceci à côté de NS (impropre à l'agriculture, *not suitable land*) et de NAG (urbanisé [habitations, usines, routes], *land estimated for settlement and infrastructure*). L'exercice conduit également à fournir des rendements potentiels maximum pour chaque classe issue des combinaisons mentionnées ci-dessus.

Toutes les données GAEZ exprimées par pays et disponibles en ligne (FAO et IIASA, 2000) ont été importées, et celles utilisées par la prospective Agrimonde (après agrégation par région MEA) sont présentées dans la figure A2.4. L'examen de ces données conduit à relever des difficultés qui permettent de cerner des limites d'utilisation :

- l'interprétation des agrégats « Toutes cultures » (*All crops)* et « Inputs mixte » (*Mixed inputs)* n'est pas aisée en raison de définitions floues ;
- les résultats de potentiels présentés dans les trois sources (FAO et IIASA, 2000 ; Fischer *et al.*, 2000, 2002) ne sont pas identiques[25] ;
- les superficies de pays selon GAEZ sont sensiblement égales à celles de la FAO (cf. « Utilisation des terres » page 30), mais il existe des exceptions[26] qui ne peuvent être expliquées par les surfaces terrestres immergées ;

25. Exemple : pour le potentiel VS + S+ MS en condition pluviale avec un niveau mixte d'intensification, on trouve successivement, pour l'Amérique du Nord : 384,2 Mha avec les données en ligne, 405,5 Mha dans le rapport 2000, et 366,3 Mha dans le rapport 2002.

26. Bhutan (14 % de différence), Suriname, Liberia, Morocco, Ecuador, Belgium-Luxembourg, Saudi Arabia, United Arab Emirates, Libyan Arab, Netherlands, Kuwait, India, Rwanda, Niger, Guinea-Bissau, Tunisia (6 %)…

• l'année d'évaluation des surfaces en forêts et des surfaces artificialisées (habitats, routes, etc.) n'est pas précisée (probablement 1992/1993) ;
• les potentiels GAEZ ne sont pas exprimés par catégorie actuelle d'utilisation des terres, excepté pour les forêts. Mais les surfaces totales de forêts s'avèrent très différentes (en général très inférieures) de celles de FAOSTAT et, plus généralement, de celles d'autres sources de données sur l'occupation des terres durant les années 1990 ;
• une estimation similaire des potentiels cultivables aurait été effectuée après simulation d'un réchauffement (uniforme…) de la planète (+ 1 °C, + 2 °C, etc.), mais il n'a pas été possible d'accéder à ces données.

Bilans des ressources et des emplois de biomasses alimentaires

Comme énoncé en introduction de ce chapitre, le cœur d'Agribiom est l'équilibre physique (reconstitué sur le passé ou simulé sur l'avenir) d'emplois et ressources de biomasses. Cette comptabilité ressources-emplois d'Agribiom combine trois particularités.

La première particularité de notre comptabilité est d'être élaborée pour la quasi-totalité des « biomasses alimentaires » que nous avons réparties en cinq « compartiments » liés à l'origine des produits et à l'usage des sols :
• les produits végétaux (vege) ;
• les produits animaux, avec ceux provenant de ruminants et gros herbivores (rumi) d'une part, ceux provenant de monogastriques d'autre part (mono) ;
• les produits aquatiques (végétaux ou animaux), avec les produits d'eau douce d'un côté (aqua) et les produits d'eau marine de l'autre (mari).

Par « biomasse alimentaire », nous entendons toute matière organique pouvant, sous sa forme primaire, servir d'aliment à l'être humain, et servant effectivement à cet usage sous une forme plus ou moins élaborée (graines, huile, pain, cornflakes, etc.), ou bien étant orientée totalement (graines de maïs par exemple) ou partiellement (tourteaux par exemple) vers l'alimentation animale ou d'autres utilisations (semences, éthanol ou biodiesel, chimie verte…). Cette définition intègre donc un très grand nombre de produits agricoles, mais en sont exclus des produits[27] comme le caoutchouc, les fibres de coton ou autre, la soie, la laine, le cuir, les huiles essentielles, les fourrages (luzernes, ensilages, pailles, bagasses…), etc.

La deuxième particularité de notre comptabilité est d'utiliser la calorie alimentaire (kcal) comme unité commune de volume physique, pour les consommations, les productions

27. Les bilans alimentaires n'intègrent pas les animaux vifs dont le commerce et les variations de stocks en particulier ont une influence sur les bilans alimentaires, une des raisons étant que seuls leurs produits (lait, viande…) sont objet de CDU.

ou les échanges de biomasses. Toute biomasse alimentaire fournit en effet de l'énergie à l'être humain, énergie qui, par gramme ou kilogramme de produit ingéré, est particulièrement élevée avec les huiles et graisses végétales ou animales, et particulièrement basse avec des produits frais comme les agrumes, tomates, mollusques et crustacés, ou des produits tropicaux comme le thé, café ou ananas. L'utilisation de cette unité permet, en particulier, d'additionner (et regrouper en « compartiments »…) des quantités de produits qu'il est inapproprié d'additionner quand ces dernières sont exprimées en tonnes, litres ou effectifs. Cependant, si l'analyse en calories alimentaires présente divers intérêts, elle comporte également des limites, notamment sur les plans économique (la calorie d'une graine de maïs ne vaut pas celle d'une graine de café…) et nutritionnel (Deaton et Dreze, 2009 ; Dorin, 1999). Sur ce dernier point, on peut souligner qu'un régime satisfaisant en calories ne l'est pas nécessairement en micronutriments (vitamines et minéraux, particulièrement présents dans les fruits et légumes), ni même en macronutriments (glucides, protéines et lipides) dont les diverses formes doivent chacune être consommées sans déficit ni excès pour mener une vie saine et active. Ces considérations et d'autres nous ont conduit à exprimer autant que possible les bilans caloriques suivant leur teneur en glucides, protéines et lipides, sur la base d'un apport moyen de, respectivement, 4, 4 et 9 kcal par gramme de macronutriment.

La troisième particularité est de représenter puis simuler les ressources et emplois annuels de biomasses alimentaires selon la structure d'équation présentée ci-après :

$$(\mathrm{AREA}_{r,i} \times (\mathrm{PROD}_{r,i} / \mathrm{AREA}_{r,i})) - \mathrm{TRAD}_{r,i} + \Delta\mathrm{STOC}_{r,i} =$$

$$(\mathrm{POPU}_{r} \times (\mathrm{FOOD}_{r,i} / \mathrm{POPU}_{r})) + \mathrm{FEED}_{r,i} + \mathrm{SEED}_{r,i} + \mathrm{VANA}_{r,i} + \mathrm{WAST}_{r,i}$$

avec :

i un compartiment de biomasse alimentaire (VEGE, RUMI, MONO, AQUA, MARI)

r une région du monde (pays ou groupe de pays : ANMO, ASS, AL, ASIE, Ex-URSS, OCDE)

$\mathrm{AREA}_{r,i}$ une surface (ha) dans une région *r* : surface cultivée alimentaire (SCA) quand *i* = VEGE ; surface recouverte en eau douce quand *i* = AQUA ; surface de plateau continental quand *i* = MARI ; sinon (*i* = RUMI, MONO), AREA = 1

$\mathrm{PROD}_{r,i}$ un volume de production alimentaire *i* dans une région *r* (kcal)

$\mathit{PROD}_{r,i} / \mathit{AREA}_{r,i}$ un rendement en produits alimentaires *i* (kcal/ha) dans une région *r* quand *i* = (VEGE, AQUA, MARI) ; sinon (*i* = RUMI, MONO), $\mathrm{PROD}_{r,i} / \mathrm{AREA}_{r,i} = \mathrm{PROD}_{r,i}$

$\mathrm{TRAD}_{r,i}$ un solde Exports-Imports (kcal) en produits alimentaires *i* pour la région *r*

$\Delta\mathrm{STOC}_{r,i}$ une variation de stocks (kcal) de produits *i* dans la région *r* (signe négatif si déstockage)

POPU_{r} un effectif de populations humaines (personnes) dans une région *r*

$\mathrm{FOOD}_{r,i}$ un volume de produits alimentaires *i* (kcal) utilisé dans une région *r* pour l'alimentation des populations humaines, y compris gaspillages et pertes durant et après la mise à disposition aux ménages et collectivités

$FOOD_{r,i}$ / $POPU_r$ un niveau moyen de consommation par personne (kcal/hab.) de produits *i* dans la région *r* (y compris gaspillages et pertes…)

$FEED_{r,i}$ un volume de produits alimentaires *i* (kcal) utilisé dans la région *r* pour l'alimentation des animaux

$SEED_{r,i}$ un volume de produits alimentaires *i* (kcal) utilisé dans la région *r* pour la reproduction

$VANA_{r,i}$ un volume de produits alimentaires *i* (kcal) utilisé dans la région *r* à des fin non alimentaires : lubrifiants, énergie, cosmétique, biomatériaux…

$WAST_{r,i}$ un volume de pertes de produits alimentaires *i* (kcal) dans la région *r* entre le disponible (Production +/- Exports-Imports +/- Stocks) et la mise à disposition effective à tel ou tel usage.

Dans Agribiom, cette équation doit être vérifiée :
- au niveau de chaque compartiment *i* de biomasse (VEGE, RUMI…) ;
- à l'échelle de chaque région *r* considérée (régions du MEA par exemple) ;
- de manière à ce que la somme des soldes Exports-Imports (TRAD) par compartiment *i* soit nulle à l'échelle mondiale.

Les volumes de biomasses sont exprimés en calories alimentaires, qui peuvent être des calories totales, mais aussi des calories issues uniquement des glucides, des protéines, ou encore des lipides.

Le premier terme de l'équation représente les ressources : les productions régionales de biomasses augmentées ou diminuées du solde net des exports-imports et des variations nettes de stocks. Pour les biomasses végétales et aquatiques, les productions régionales sont représentées comme fonction d'espaces de production plus ou moins vastes (ha) et de productivité (partielle) de ces espaces plus ou moins élevée (kcal/ha)[28]. Une telle représentation n'étant pas possible pour les productions de biomasses animales (RUMI et MONO)[29], il a fallu, pour la simulation de telles productions, recourir à d'autres formulations (cf. « Modèles de productions animales » page 42).

Le second terme de l'équation représente les usages régionaux des biomasses, notamment les consommations alimentaires humaines qui équivalent à des populations humaines plus ou moins nombreuses (personnes) consommant des quantités plus ou moins importantes de biomasses par personne (kcal/hab.).

Cette représentation des ressources et emplois de biomasses alimentaires est étroitement liée aux séries statistiques qui pouvaient raisonnablement la renseigner sur le passé à l'échelle de chaque pays du monde, et sur une période relativement longue. Les séries mobilisées pour les populations humaines (POPU) et les surfaces

28. Cette représentation de la production est simple mais réductrice et orientée vers l'investigation de certaines questions plutôt que d'autres ; par exemple elles ne portent pas sur le nombre d'actifs agricoles, et la productivité (partielle) du travail de ces actifs.

29. La production de ces biomasses peut difficilement être reliée à des quantités spécifiques d'hectares.

(AREA) ont déjà été présentées (cf. « populations humaines » et « utilisations des terres » pages 29-30). Les autres sont issues d'une base de données beaucoup plus volumineuse que les précédentes, qui reprend et compacte des séries détaillées de productions et d'échanges de produits agricoles. Cette base est celle des « Comptes Disponibilité Utilisation » (CDU ou « *Commodity Balances* ») élaborés par la FAO (FAO, 2006). Les CDU présentent le grand intérêt d'être établis : 1) pour la quasi-totalité des pays du monde ; 2) sur plus de quarante ans (1961-2003) ; 3) pour plus de 120 lignes de produits ; 4) de manière que, pour chacune de ces lignes, l'évaluation des « disponibilités » nationales (production + importation - exportation - variation de stock) équilibre celle des « utilisations ». Ces dernières comptent six rubriques : les cinq mentionnées ci-dessus (FOOD[30], FEED[31], SEED[32], VANA[33], WAST[34]) et une sixième intitulée « Manufacturé » (cf. infra).

Cette comptabilité annuelle par pays est effectuée en tonnes. Pour les 109 lignes de ce que nous considérons comme « biomasses alimentaires » (Annexe 1 page 241), ces tonnages ont été convertis en calories totales et en calories issues des macronutriments (glucides,

30. Glossaire FAOSTAT en ligne (2008) – *FOOD : Data refer to the total amount of the commodity available as human food during the reference period. Data include the commodity in question, as well as any commodity derived therefrom as a result of further processing. Food from maize, for example, comprises the amount of maize, maize meal and any other products derived therefrom available for human consumption. Food from milk relates to the amounts of milk as such, as well as the fresh milk equivalent of dairy products.*

31. Glossaire FAOSTAT en ligne (2008) – *FEED : Data refer to the quantity of the commodity in question available for feeding to the livestock and poultry during the reference period, whether domestically produced or imported.*

32. Glossaire FAOSTAT en ligne (2008) - *SEED : Data include the amounts of the commodity in question set aside for sowing or planting (or generally for reproduction purposes, e.g. sugar cane planted, potatoes for seed, eggs for hatching and fish for bait, whether domestically produced or imported) during the reference period. Account is taken of double or successive sowing or planting whenever it occurs. The data of seed include also, when it is the case, the quantities necessary for sowing or planting the area relating to crops harvested green for fodder or for food (e.g. green peas, green beans, maize for forage). Data for seed element are stored in tonnes (t). Whenever official data were not available, seed figures have been estimated either as a percentage of supply (e.g. eggs for hatching) or by multiplying a seed rate with the area under the crop of the subsequent year.*

33. Glossaire FAOSTAT en ligne (2008) - *VANA : Data refer to quantities of commodities used for non-food purposes, e.g. oil for soap. In order not to distort the picture of the national food pattern quantities of the commodity in question consumed mainly by tourists are included here (see also* Per capita supply*). In addition, this variable covers pet food.*

34. Glossaire FAOSTAT en ligne (2008) – *WAST : Amount of the commodity in question lost through wastage (waste) during the year at all stages between the level at which production is recorded and the household, i.e. storage and transportation. Losses occurring before and during harvest are excluded. Waste from both edible and inedible parts of the commodity occurring in the household is also excluded. Quantities lost during the transformation of primary commodities into processed products are taken into account in the assessment of respective extraction/conversion rates. Distribution wastes tend to be considerable in countries with hot humid climate, difficult transportation and inadequate storage or processing facilities. This applies to the more perishable foodstuffs, and especially to those which have to be transported or stored for a long time in a tropical climate. Waste is often estimated as a fixed percentage of availability, the latter being defined as production plus imports plus stock withdrawals.*

protéines, lipides) à partir de références FAO (2003), parfois de références USDA (2006), et de l'équation $Kcal_{Total} = (4 \times g_{glucides}) + (4 \times g_{protéines}) + (9 \times g_{lipides})$. Dans le cas particulier des aliments pour animaux (tourteau de soja par exemple), des équivalents caloriques et macronutritionnels ont été déduits des valeurs caloriques et macronutritionnelles du produit primaire (graine de soja par exemple), des valeurs caloriques et macronutritionnelles d'un produit secondaire (huile de soja par exemple) et d'un taux d'extraction constaté pour ce dernier en moyenne mondiale, ceci à partir des tonnages CDU de la FAO sur toute la période considérée (par exemple 18 % pour l'huile de soja). Une fois ces conversions en calories effectuées, les lignes sont agrégées en compartiments comme indiqué en annexe 1, en devant parfois procéder à des arbitrages[35].

Les CDU offrent une source unique d'information pour évaluer et analyser de grandes tendances en matière de productions, échanges et usages de biomasses. Mais cette comptabilité est imparfaite et complexe. Elle nous a conduit, en particulier, à formuler et à tester diverses options de classement des lignes en produits « primaires » ou « secondaires », ceci afin d'éviter des doubles comptages (notamment en matière de production) et obtenir *in fine* des bilans ressources-emplois relativement équilibrés à l'échelle globale tant en termes de calories totales que de macronutriments, sur 43 ans, et ceci sans la rubrique d'usage « Manufacturé ». Cette rubrique « Manufacturé » rapporte en effet des volumes de produits « primaires » (par exemple graine d'arachide, produite localement et/ou importée) utilisés pour la production locale d'un ou plusieurs produits « secondaires » apparaissant dans les CDU (par exemple huile et tourteau d'arachide) selon des rendements de transformation par ailleurs non renseignés. À ces difficultés s'ajoute le fait que certains produits comme les alcools ne sont pas issus d'un seul produit primaire, mais de plusieurs (céréales, raisins, sucres), pouvant être eux-mêmes des produits « secondaires » (sucre en particulier, issu de la betterave ou de la canne à sucre). Après de multiples tests effectués sur l'ensemble des pays et de la période 1961-2003, nous avons traité les sucres et mélasses comme des produits primaires, et avons par conséquent écarté de l'analyse les volumes de canne et de betterave à sucre desquels ils étaient de prime abord issus[36].

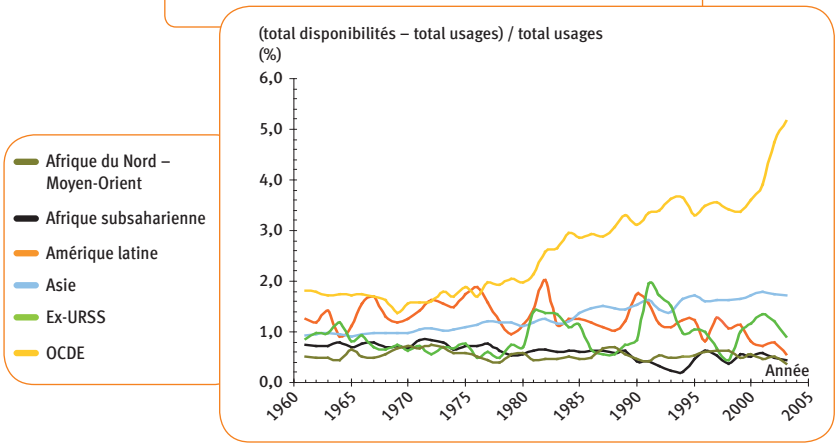
L'équilibre des ressources et des emplois n'est pas non plus atteint parce que les volumes d'exportation n'égalisent pas totalement les volumes d'importation. Ces difficultés – parmi d'autres – ont motivé une réforme de FAOSTAT en 2006 – abandonnée en 2008. Avec les bilans caloriques tels que nous les avons élaborés, nous constatons pour notre part que le total des usages déclarés est, dans la grande majorité des cas, inférieur

35. Ces arbitrages sont parfois contestables, par exemple : affectation de la ligne « Graisses Animales *(Crue)* » en RUMI alors que cette ligne concerne certainement aussi les compartiments MONO et MARI.

36. Ces biomasses ne sont guère objets de transactions internationales, ce qui n'introduit pas de biais à ce niveau, mais elles peuvent comme en Chine être aussi utilisées comme FEED, et pas seulement pour la production de sucre.

au total des disponibilités. On trouve diverses explications[37] à cette différence qui s'avère significative pour quelques pays, en premier lieu les États-Unis où près de 10 % des disponibilités alimentaires végétales « disparaissent » ainsi au début des années 2000. Pour la grande majorité des pays cependant, ces écarts sont bien plus modestes : ils sont inférieurs à 3 % (États-Unis inclus) au début des années 2000 à l'échelle mondiale, et inférieurs à 2 % sur 43 ans pour cinq des six régions du MEA (Figure 2.3). Ces écarts représentent, avec les variations de stock, ce que nous appelons « Résidu » dans les simulations.

Figure 2.3. Écart entre Disponibilités et Usages des calories végétales (1961-2003).



Biomasses non alimentaires

LE TERME « BIOMASSE » DÉSIGNE un vaste ensemble de matières qui font l'objet de différentes conceptions et définitions, des organismes vivants en milieux souterrains ou immergés aux feuilles des arbres et oiseaux dans le ciel, des matières organiques en cours de formation à celles fossilisées sous forme de pétrole, gaz naturel, charbon, lignine ou tourbe.

37. On remarque l'absence de données CDU pour la Belgique et le Luxembourg (conservés dans notre base) à compter de l'année 2000 alors que cette région est importatrice nette de calories végétales (environ 50 Gkcal/jour depuis 1975), l'absence complète de données CDU pour des pays écartés pour cette raison de notre base (Irak, Afghanistan, Somalie…) alors qu'ils sont probablement importateurs nets de quantités significatives de biomasses alimentaires, la sous-estimation de certains usages (dont gaspillages), la surestimation des productions ou des exportations, des erreurs dans notre traitement de la rubrique « MANUFACTURÉ », etc.

Par « biomasses non alimentaires », nous désignons ici :

- les « coproduits » ou « résidus » organiques liés aux récoltes de « biomasses alimentaires » (pailles, rafles ...laine, cuir) ;
- les produits de l'agriculture (y compris élevage et pêche) ne pouvant servir d'aliment à l'être humain sous leur forme primaire : caoutchouc, fibres de coton ou autre, soie, luzerne et autres fourrages cultivés, herbe des pâtures... ;
- les « coproduits » ou « résidus » organiques liés aux récoltes précédentes ;
- le bois sous ses diverses formes.

Diverses séries de données nationales FAO (CDU et autres) permettent d'évaluer directement (tabac, caoutchouc, fibres, laines, cuirs, bois de chauffe, bois industriel...) ou indirectement (résidus de récolte, biomasse forestière sur pied...) les tonnages de nombreuses biomasses non alimentaires listées ci-dessus, et l'évolution de ces volumes durant les dernières décennies. Ces travaux doivent être repris, affinés, complétés. Notre outil de simulation propose ici d'intégrer à trois niveaux la problématique concurrence/complémentarité entre biomasses alimentaires et non alimentaires :

- l'usage des terres, avec des surfaces plus ou moins importantes en forêts, en pâtures et en « surfaces cultivées non alimentaires » (SCNA) ;
- des usages non alimentaires de produits alimentaires, avec des « valorisations agricoles non alimentaires » plus ou moins importantes (VANA) ;
- des modèles de productions animales explicitant, entre autres, des quantités de produits alimentaires utilisés pour l'alimentation des animaux (cf. FEED, et modèles infra).

Modèles de productions animales

DANS UNE APPROCHE AXÉE SUR LES EMPLOIS ET LES RESSOURCES telle qu'Agribiom, cette section s'attache à montrer l'importance et la difficulté d'estimer les liens entre productions animales et ressources végétales disponibles pour ces productions, puis à proposer un premier système d'estimation en mesure de capturer d'importantes différences de technologies existant dans le domaine à l'échelle mondiale.

Des données et des représentations problématiques

L'élevage (d'animaux terrestres) fournit des aliments pour l'être humain (laits et produits dérivés, viandes, œufs...) que ce dernier tend à consommer en quantité plus importante quand son revenu s'élève. Ainsi, avec la croissance des populations humaines, la demande en produits animaux devrait continuer de s'intensifier à l'avenir. L'élevage fournit aussi de nombreux autres services, que ce soit pour l'épargne, le transport et la traction, la fertilisation des terres (déjections), la cuisson des repas (bouses séchées), l'éclairage, le lavage ou la cosmétique (suifs et autres graisses animales), l'habillement (laines, cuirs, plumes, duvets...), le recyclage des déchets organiques, l'entretien des paysages

et d'espaces riches en carbone et biodiversité, etc., sans oublier les fonctions religieuses ou sociales (animaux de compagnie). Il emploie directement et indirectement un grand nombre de personnes, et utilise virtuellement plus de 80 % des terres dites « agricoles », avec 3,3 milliards d'hectares de pâtures[38] et plus d'un demi-milliard d'hectares de terres cultivées[39]. L'élevage est aussi l'objet d'importantes inquiétudes sur les plans sanitaire (épizooties…) et environnemental, notamment en ce qui concerne l'eau (consommation, pollutions…) et les émissions de gaz à effet de serre (Steinfeld *et al.*, 2006).

Cependant, malgré l'importance de l'élevage du point de vue économique et écologique, ce secteur souffre, à l'échelle mondiale, d'un important déficit d'informations statistiques. Les productions autres qu'alimentaires sont souvent mal évaluées (parfois pas du tout), de même que les facteurs de production autres que les « concentrés » (céréales et tourteaux) pouvant être affectés aux animaux (travail, capital, consommations intermédiaires tels que les produits vétérinaires…). Concernant l'alimentation animale, cela est particulièrement problématique quand on doit représenter le processus de conversion des biomasses végétales en diverses biomasses animales, ceci à des fins de prospectives globales en lien avec l'usage des terres. Pour les grands herbivores et ruminants tout spécialement, à côté d'éventuels additifs biochimiques, d'autres biomasses que les concentrés sont apportées en complément ou substitut : fourrages annuels cultivés[40], herbes (vertes ou séchées) et autres biomasses issues des pâtures, savanes et divers autres parcours (y compris en forêts), résidus de récoltes (pailles, fanes, rafles…), résidus alimentaires (épluchures et autres restes), etc. Certains auteurs ont tenté de quantifier aux échelles nationales ou continentales ces différentes sources d'alimentation animale, tels Devendra et Sevilla (2002), Wirsenius (2003), Bouwman *et al.* (2005) ou encore Smeets *et al.* (2007). À côté des quantités, l'évaluation de la qualité de ces biomasses est également très importante mais aussi mal connue (matière sèche, digestibilité, énergie, protéines, etc.). Enfin, pour ces sources d'alimentation animale comme pour les autres (concentrés), il existe une importante lacune statistique aux échelles nationales dans la répartition de ces consommations animales de biomasses par espèce (équins, bovins, ovins, porcins, volailles…) et/ou par produit animal (laits, viandes…).

Les exercices de prospective agricole et alimentaire en viennent pourtant à utiliser *in fine* des taux de consommation / conversion A (a_{11}, …, a_{nk}) de telle ou telle biomasse I (i_1, …, i_n)

38. Cf. définition « Utilisation des terres » page 30 et Chapitre 3, page 58.

39. D'après nos estimations fondées sur des données FAO, en l'an 2000, 1/3 des calories végétales alimentaires consommées dans le monde sont utilisées comme aliments pour animaux, avec d'importantes variations par région de ce taux (cf. Chapitre 3, page 63).

40. Dans les séries CDU de la FAO que nous avons utilisées, seuls 5 fourrages étaient renseignés : luzerne *(Alfalfa for forage and silage)*, trèfle *(Clover for forage and silage)*, maïs *(Maize for forage and silage)*, ray-grass *(Rye grass for forage and silage)* et sorgho *(Sorghum for forage and silage)*. Par rapport à la réalité des productions fourragères dans le monde, cette liste est restreinte ; pour la Chine, l'Inde et le Brésil, il n'y avait d'ailleurs aucune statistique pour l'un ou l'autre de ces fourrages. Cette restriction et ces lacunes nous ont conduit à ne pas utiliser ces données.

par ou en produit animal P (p_1, ..., p_k). Les biomasses « *i* » se limitent généralement à des volumes de concentrés (céréales, tourteaux), et les produits « *P* » à des volumes de laits (vache, bufflesse, chèvre…), viandes (bovines, porcines…), œufs, ou bien un type de tête animal (veau, vache, taureau…). Les taux « *A* » sont fonction des unités de volume, qui peuvent être des kilogrammes de produit (Bouwman *et al.*, 2005 ; Delgado *et al.*, 1999), des unités fourragères ou des kilogrammes de protéines (Sebillote, 2001), ou encore des kilocalories (Collomb, 1999 ; Griffon, 2006 ; Malassis et Padilla, 1986). Ces taux *A* sont évalués, grosso modo, de deux manières que nous dénommons successivement « l'approche physiologique » et « l'approche statistique ».

L'approche physiologique s'attache à évaluer les taux *A* en fonction des besoins physiologiques individuels des animaux (pour l'entretien et la collecte de nourriture, une lactation plus ou moins abondante, un gain moyen quotidien en viande plus ou moins important, un effort journalier de traction…), de la composition des cheptels (espèces et races animales, âge, sexe et poids des animaux) et des caractéristiques locales des biomasses *i* à disposition. Cette approche conduit, concrètement, à devoir échafauder un grand nombre d'hypothèses lorsqu'on travaille aux échelles nationales, sur le passé et plus encore sur l'avenir. L'approche statistique consiste à évaluer *A* en fonction de volumes de consommations *P* observés un temps donné sur un espace donné et, pour l'avenir, à conserver ou modifier *A* selon diverses hypothèses d'experts portant, d'une part, sur toutes les autres sources d'alimentation et autres facteurs de production, et, d'autre part, sur l'impact supposé de ces hypothèses sur *A*.

Dans les deux cas (approche physiologique et approche statistique), les représentations et coefficients utilisés pour simuler l'avenir tendent en pratique à souvent se rapprocher des situations aujourd'hui les mieux référencées, comme celles des élevages industrialisés et des stations expérimentales attachées à améliorer la productivité de ces élevages en laits, viandes ou œufs. Si d'énormes progrès ont été accomplis et seront encore accomplis dans les formes industrielles de production, on ne peut exclure d'emblée, dans le raisonnement prospectif, que d'autres formes d'élevage perdurent, s'améliorent ou émergent à l'avenir, notamment pour valoriser efficacement certaines ressources locales, ou fournir divers revenus et services à des agrosystèmes et populations faiblement dotées en capital financier et logistique, comme aujourd'hui dans la plupart des pays du Sud.

Tout cet ensemble de considérations nous a conduit à essayer d'améliorer la représentation et la modélisation des productions alimentaires animales à l'échelle mondiale. Notre approche fut résolument statistique, et s'est structurée en deux grandes étapes :

- tout d'abord l'élaboration d'une base mettant en correspondance diverses données nationales : 1) relatives aux productions animales et aux facteurs de production agricoles ; 2) sur un nombre d'années important pour disposer d'un échantillon satisfaisant de mesures et d'évolutions technologiques variées (1961-2003) ; 3) suivant des agrégations et des unités susceptibles de révéler des phénomènes généraux et robustes (compartiments « végétaux », « ruminants et gros herbivores », « monogastriques »… quantifiés en calories, protéines, ou lipides alimentaires) ;

• ensuite, la recherche – dans cette base de données que nous aurions aimé plus complète (fourrages annuels, qualité des pâtures, résidus, etc.) – de relations statistiques entre les productions alimentaires animales et les variables susceptibles d'expliquer ces productions. Cette recherche s'est orientée vers l'élaboration de « fonctions de productions » animales.

Après la première étape, nous montrons que la productivité partielle du FEED végétal (céréales et tourteaux d'oléagineux en grande partie) est effectivement très variable dans l'espace et le temps, en termes de calories totales (Figure 2.4) ou encore de protéines (Figure 2.5). Simuler à long terme les productions alimentaires animales avec un coefficient fixe relatif à ces seules quantités de facteur présente donc des limites que la seconde étape (fonctions de productions animales) s'attache à dépasser.

Des fonctions de production animale

En microéconomie, une fonction de production exprime la relation entre les inputs d'une entreprise et sa production. Elle indique, sous forme d'équation ou de graphique, ce que la firme peut produire à partir de différentes quantités et combinaisons d'inputs. De manière générale, une fonction de production s'exprime sous la forme $Q = f(x_1, ..., x_n)$ où Q est la quantité produite d'un bien et $x_1, ..., x_n$ sont des quantités de facteurs de production (travail, capital, consommations intermédiaires...). Cette fonction peut prendre différentes formes (linéaire, quadratique, Cobb-Douglas, CES...) selon que les rendements marginaux sont très décroissants ou pas, qu'il existe des économies d'échelle ou pas, que les facteurs de production sont très substituables ou pas, etc. Cette forme est précisée par les données et par les aspects de la technologie que l'on veut étudier.

Nous avons cherché à établir des fonctions de production :

• à l'échelle de pays (ou de pays réunis en régions) et non de firmes, ce qui conduit certains auteurs à utiliser le préfixe « méta » ou « *cross-countries* » pour qualifier de telles fonctions ;

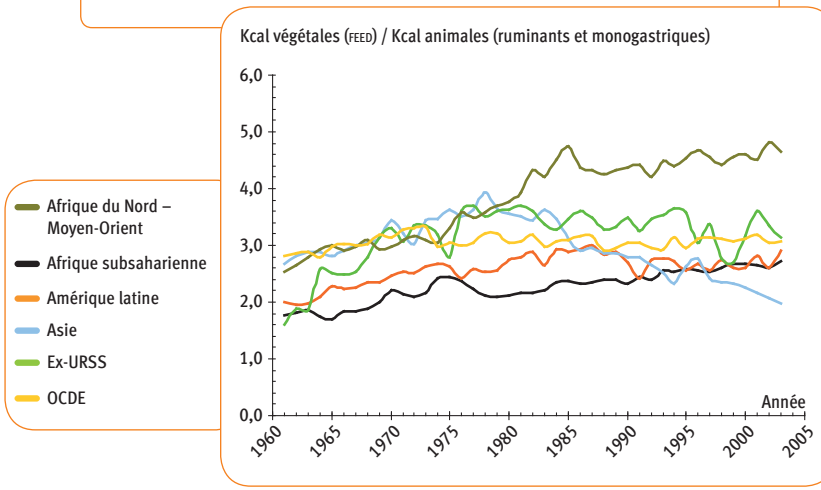
• avec des données nationales de panel sur 43 ans (1961-2003) ;

• pour des productions annuelles alimentaires d'origine animale (laits, viandes, œufs...) converties en calories ou protéines (Gkcal) puis regroupées en deux catégories, production de « ruminants » et gros herbivores d'une part (RUMI), « monogastriques » d'autre part (MONO) ;

• avec des facteurs de production ayant pour tout ou partie servi à ces deux productions alimentaires, des facteurs non exhaustifs et plus ou moins bien évalués *(proxies)* chaque année aux échelles nationales tels les FEED d'origine végétale, animale et aquatique (Gkcal de calories totales ou de calories fournies par les protéines uniquement), les pâtures (milliers d'hectares), le travail humain (milliers d'actifs agricoles), les tracteurs (unités), etc.

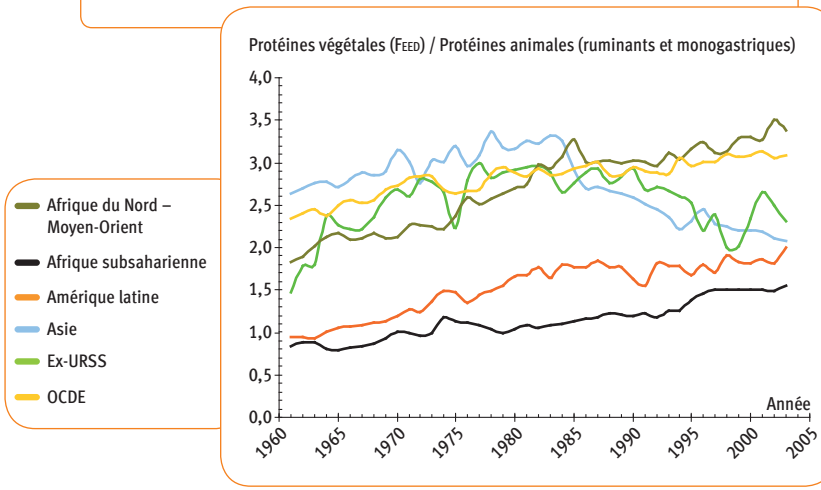
Nous avons donc cherché à élaborer des fonctions de production multiproduits dont la forme générale est $F(X, Y) = o$, où $X = (x_1, ..., x_n)$ est le vecteur de facteurs de

Figure 2.4. Calories de produits alimentaires végétaux utilisées pour produire une calorie alimentaire animale (1961-2003)



Input protéique en FEED végétal / Output de protéines alimentaires animales

Figure 2.5. Protéines de produits alimentaires végétaux utilisées pour produire une protéine alimentaire animale (1961-2003).



Input protéique en FEED végétal / Output de protéines alimentaires animales

production, et $Y = (y_1,...,y_m)$ le vecteur de produits obtenus avec ces facteurs. Ce type de fonction va permettre, en particulier, de distinguer la productivité du FEED en termes de produits de ruminants d'une part, de produits de monogastriques d'autre part. Par contre, ces fonctions sont plus difficiles à estimer que les fonctions monoproduit lorsque l'allocation des facteurs aux produits est inconnue, comme c'est ici souvent le cas (nous connaissons par exemple les quantités totales de FEED, mais pas celles utilisées respectivement par les ruminants et par les monogastriques). L'allocation doit donc être déduite des estimations agrégées, suivant différentes méthodes à disposition (Just *et al.*, 1983 ; Mishra, 2007).

Par ailleurs, il existe dans l'estimation de fonction de production des risques importants de biais identifiés dans la littérature, notamment liés à l'endogénéité des facteurs de production. La correction de ces biais nécessite des méthodes d'estimation adaptées, selon la forme fonctionnelle et selon l'utilisation que l'on veut faire de la fonction de production. Nous avons retenu trois méthodes d'estimation :

- un modèle autorégressif qui permet d'éliminer efficacement l'autocorrélation (le terme d'erreur de l'année t est utilisé comme variable explicative de l'année t + 1) ;
- une estimation par les moindres carrés généralisés qui diminue nettement le biais d'hétéroscedasticité, et donne dans la plupart des cas des résultats d'estimation proches du modèle autorégressif ;
- différents modèles à effet fixe permettant une correction plus ou moins bonne des biais d'endogénéité.

Les travaux ont conduit à élaborer et à tester diverses fonctions de production :

- avec un nombre plus ou moins important de proxies sur les facteurs (x_1, ..., x_n), et des tentatives pour affiner certains d'entre eux (pâtures en particulier) en les combinant à d'autres variables de notre base de données ;
- avec des unités d'outputs (productions alimentaires animales) et d'inputs (FEED) exprimées en calories totales, ou bien en calories issues de protéines uniquement[41], ceci pour apprécier, en particulier, l'effet des tourteaux d'oléagineux (soja notamment) qui s'imposent depuis les années 1960 dans les élevages comme compléments en protéines des rations de base ;
- avec ou sans « *trend* » (pour évaluer un progrès technique[42] annuel) ou « *dummies* » de nature temporelle (pour capter la spécificité de certaines années) ou géographique (pour capter des spécificités régionales constantes dans le temps) ;
- avec l'objectif de modéliser des modes de production à l'échelle de grandes régions (type régions du MEA), ou bien de modéliser des grands modèles de production (types « intensif-industriel », « extensif-agricole », etc.) ; nous parlerons dans le premier cas de « fonctions géographiques » et, dans le second, de « fonctions typologiques » ;
- avec différentes formes fonctionnelles, linéaires et quadratiques en particulier.

41. Rappel : 1 g de protéines fournit en moyenne 4 kcal.

42. Progrès de production inexpliqué par les facteurs de production entrés dans la fonction.

Pour la prospective Agrimonde, le choix s'est porté sur des fonctions :

- linéaires ;
- géographiques et, en l'occurrence, pour chacune des six régions du MEA (12 à 40 pays par région selon les cas) ;
- sans *trend* ni *dummies* ;
- utilisant comme unité de travail la calorie issue des protéines ; pour les simulations, les taux de conversion en calories totales sont calés sur les dernières valeurs observées (2003) mais peuvent être modifiés suivant les scénarios imaginés (augmentation ou diminution des teneurs en protéines du FEED par exemple) ;
- organisées en un système de deux équations (production de protéines de ruminants d'une part, de monogastriques d'autre part) comportant trois facteurs explicatifs : les protéines apportées sous forme de FEED (origines végétale et animale), les hectares de pâture, le niveau de production du « substitut » (production protéique de monogastriques ou de ruminants selon les cas).

Ces fonctions permettent de reproduire assez fidèlement l'évolution des productions animales régionales durant plus de 40 années passées (Figure A1.1). La plupart des autres fonctions élaborées peuvent reproduire encore plus fidèlement ces évolutions passées, ce qui n'était pas ici l'objectif. Pour la prospective Agrimonde, il s'agissait en effet de disposer de fonctions : 1) limitant les hypothèses à formuler pour les simulations ; 2) en mesure d'accepter des hypothèses de simulation relativement éloignées des valeurs utilisées pour élaborer chaque modèle (Agrimonde étant un exercice de prospective, il peut par définition être amené à imaginer des mondes très différents de ceux observés dans le passé).

Nous avons retenu ici une forme linéaire pour plusieurs raisons :

- parmi les formes testées, c'est la forme la plus stable aux changements d'échelle géographique[43] ; une fois la fonction de production estimée avec des données nationales, les coefficients de productivité marginale de chaque facteur valent aussi bien pour le pays d'une région que la région toute entière, ce qui évite, pour les simulations, de formuler des hypothèses pour chaque pays de la région considérée ;
- les coefficients d'estimation peuvent être rapprochés de coefficients physiologiques. Par exemple, un coefficient de 0,2 associé aux calories de FEED signifie qu'une calorie supplémentaire de ce FEED produit 0,2 calorie supplémentaire de la production animale considérée (soit un taux de conversion marginale de 5 calories de FEED par calorie animale) ; ce coefficient est appelé « productivité marginale »[44] ;
- la forme linéaire est compatible avec une productivité moyenne décroissante du FEED comme on l'observe empiriquement (Figure 2.6) ; elle est par ailleurs compatible avec une substitution (à taux fixe) des facteurs et une substitution (à taux fixe) des outputs.

43. Plus stable y compris que la forme Cobb Douglas à rendement d'échelle constant.

44. Une productivité marginale constante (comme nous l'impose la forme linéaire) est une restriction puisqu'elle ne permet pas de représenter les effets de second ordre. Elle donne en revanche plus de robustesse au modèle.

La forme générique des fonctions utilisées pour la prospective Agrimonde est présentée ci-après (Tableaux 2.3 et 2.4), ainsi que leur estimation par les moindres carrés généralisés (Tableaux 2.5 et 2.6). Pour les simulations, après avoir formulé des hypothèses sur les quantités régionales de FEED et de pâtures à un horizon de temps plus ou moins éloigné, nous résolvons pour chaque région un système à deux équations et deux inconnues (PROD_RUMI et PROD_MONO). Le résultat de cette procédure respecte les contraintes des deux fonctions de production, mais exclut toute hypothèse de répartition *a priori* des protéines fournies par les ruminants d'une part, les monogastriques d'autre part, ce que certains exercices de prospective pourraient souhaiter représenter ou tester.

Tableau 2.3. Fonctions nationales génériques de production animale utilisées par Agrimonde.

(1) $$PROD_RUMI_k = \alpha_0^J + \alpha_1^J FEED_k + \alpha_2^J . PÂTURES_k + \beta^J PROD_MONO_k$$

(2) $$PROD_MONO_k = \gamma_0^J + \gamma_1^J FEED_k + \delta^J PROD_RUMI_k$$

Avec :

k un pays appartenant à la région ***J***

$PROD_RUMI_k$ la production de protéines alimentaires issues de ruminants et gros herbivores, exprimée en kcal par an, pour le pays ***k***

$PROD_MONO_k$ la production de protéines alimentaires issues de monogastriques du pays ***k***

α_0^J le terme constant de la région ***J*** obtenu par l'estimation de la fonction nationale type de production de ruminants de la région ***J***

α_1^J la productivité marginale du FEED (origines végétale et animale) dans la région ***J***, exprimée en kcal de protéines de ruminants (PROD_RUMI) par kcal de protéines de FEED.

$FEED_k$ la consommation de FEED du pays ***k***, en kcal d'origine protéique

α_2^J la productivité marginale des pâtures dans la région ***J***, exprimée en kcal d'origine protéique par hectare de pâture

$PÂTURES_k$ la surface de prairie permanente du pays ***k***

β^J le coefficient de substitution entre monogastriques et ruminants dans la région ***J***

γ_0^J le terme constant de la région *J* obtenu par l'estimation de la fonction nationale type de production de monogastriques de la région ***J***

γ_1^J la productivité marginale du FEED (origines végétale et animale) dans la région ***J***, exprimée en kcal de protéines de monogastriques (PROD_MONO) par kcal de protéines de FEED.

δ^J le coefficient de substitution entre ruminants et monogastriques dans la région ***J***

Tableau 2.4. Fonctions régionales génériques de production animale utilisées par Agrimonde.

(3) $$PROD_RUMI_J = \sum_{k \in J} \alpha_0^J + \alpha_1^J \sum_{k \in J} FEED_k + \alpha_2^J . \sum_{k \in J} PÂTURES_k + \beta^J \sum_{k \in J} PROD_MONO_k$$

(4) $$PROD_MONO_J = \sum_{k \in J} \gamma_0^J + \gamma_1^J \sum_{k \in J} FEED_k + \delta^J \sum_{k \in J} PROD_RUMI_k$$

Avec :

$PROD_RUMI_J$ la production de protéines alimentaires issues de ruminants et gros herbivores, exprimée en kcal par an, pour la région ***J***

$PROD_MONO_J$ la production de protéines alimentaires issues de monogastriques dans la région ***J***

J une région constituée de pays ***k***

Tableau 2.5. Coefficients des fonctions nationales de production animale RUMI utilisées par Agrimonde.

	OCDE	ASIE	AL	ASS	Ex-URSS	ANMO
α_0^J (Intercept)	+ 251 075 226,1	+ 20 528 324,9	+ 5 903 806,83	- 2 668 975,75	+ 42 720 057,2	+ 19 928 565,5
α_1^J (FEED)	+ 0,39***	+ 0,17***	+ 0,25***	+ 0,34***	+ 0,26***	+ 0,24***
α_2^J (PÂTURES)	+ 6 411***	+ 3 000***	+ 12 881***	+ 3 349***	+ 2 758***	+ 4 081***
β^J (PROD_MONO)	- 1,89***	- 0,01***	- 0,23***	- 0,05***	- 0,01***	- 0,87***

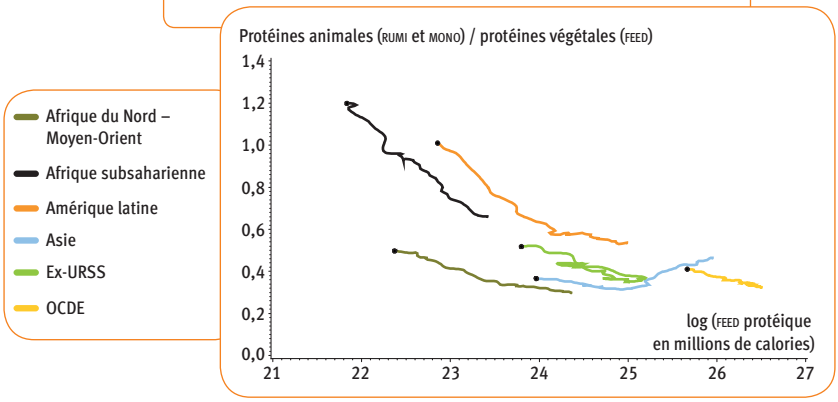
*** significatif au seuil de 1 %

Tableau 2.6. Coefficients des fonctions nationales de production animale MONO utilisées par Agrimonde.

	OCDE	ASIE	AL	ASS	Ex-URSS	ANMO
γ_0^J (Intercept)	- 16 343 932,5	- 295 377 986	+ 1 749 430,94	+ 1 001 663,42	- 368 017,209	+ 12 688 321,3
γ_1^J (FEED)	+ 0,15 ***	+ 0,39***	+ 0,21***	+ 0,18***	+ 0,08***	+ 0,16***
δ^J (PROD_RUMI)	- 0,14 ***	- 0,53***	- 0,05***	- 0,05***	- 0,01***	- 0,29***

*** significatif au seuil de 1 %

Figure 2.6. Productivité moyenne décroissante des protéines végétales alimentaires dans la production de protéines alimentaires animales (1961-2003).



Lorsque la valeur du FEED est faible, la production repose beaucoup sur les pâturages et fourrages, et la productivité moyenne du FEED est alors élevée (i.e. le rapport Production / FEED est important). À mesure que la part relative du FEED dans la production augmente, sa productivité moyenne diminue (i.e. diminution du rapport Production / FEED). Cette évolution s'accompagne généralement d'une diminution relative des productions de ruminants dans la production animale totale.

Interface et simulations interactives

UN OBJECTIF IMPORTANT D'AGRIBIOM est d'aider et faciliter des débats collectifs sur les productions, échanges et usages passés et à venir de biomasses à l'échelle globale, de favoriser l'émergence de visions ou questions communes sur les évolutions passées et futures. Pour devenir cet outil « médiateur », un soin et un temps importants ont été consacrés à la création d'une interface sous Microsoft Access©. Cette interface permet, fin 2008, et suivant différentes échelles possibles d'analyse géographique (dont les six régions du MEA) :

- de représenter ou de croiser visuellement (graphiques) des grandeurs issues d'un traitement de plusieurs millions de données historiques (Figures 3.1 à 3.13, et A2.1 à A2.9), notamment les variables ou « paramètres » servant à simuler les productions, échanges et usages de biomasses alimentaires ;
- de décrire et de tester des modèles élaborés en interne (pour l'instant, fonctions de production animale), en comparant leurs résultats à ceux observés dans le passé (1961-2003), en modifiant aisément leurs coefficients (productivités marginales en particulier) ou mode de résolution, en visualisant instantanément leurs résultats avec de nouvelles données ;

• de saisir, pour tel ou tel scénario envisagé (ou variantes), des hypothèses de paramètres et de modèles, puis de débattre, retravailler et d'arrêter ces hypothèses en simulant collectivement avec l'interface un équilibre physique global des productions, usages, et échanges de biomasses alimentaires ;
• d'archiver les résultats quantitatifs obtenus avec les hypothèses associées, notamment pour les rendre transparents auprès de tiers, et permettre critiques ou approfondissements des scénarios et hypothèses formulés.

L'interface est concrètement structurée en plusieurs fenêtres ou « domaines de paramètres » (Populations humaines, Consommations alimentaires, Occupations des terres, Productions et productivités alimentaires, Échanges alimentaires, Usages des produits alimentaires, Modèles de productions animales…) qui permettent de visualiser des données historiques dans chacun des domaines concernés, puis d'enregistrer (ou calculer), dans chacun de ces domaines, des valeurs de scénarios (ou variantes de scénarios) à tel ou tel horizon de temps. Une fenêtre particulière permet, en dernier ressort :
• de récapituler, pour chaque région du monde considérée (dans Agrimonde, zonage MEA) et à l'horizon de temps choisi, les principales hypothèses de scénario formulées (populations, diètes, surfaces…) et leurs implications en termes d'utilisations, de productions et d'échanges nets (en Gkcal/jour) pour les cinq compartiments de biomasses alimentaires (VEGE, AQUA, MARI, RUMI, MONO) ;
• d'ajuster ces hypothèses pour obtenir un équilibre physique global à l'échelle mondiale, certains ajustements nécessitant l'utilisation d'autres fenêtres et outils de l'interface pour être correctement effectués, notamment en ce qui concerne les productions animales[45].

Une simulation via l'interface Agribiom consiste ainsi à illustrer un équilibre (ou un déséquilibre) entre des usages et des ressources envisagés par région puis globalement. Cette illustration implique, pour chaque région considérée, d'expliciter des hypothèses : 1) sur les éléments de notre équation emplois-ressources (cf. « Bilans des ressources et des emplois de biomasses alimentaires » page 36)[46] ; 2) sur les modèles utilisés pour renseigner certains de ces éléments (productions animales en l'occurrence) ; 3) sur les échanges internationaux, notamment sur les préférences régionales d'acquisition de ressources à l'extérieur (Préfère-t-on importer des aliments pour animaux ou les produits animaux eux-mêmes ? Avec de préférence quelle région capable de les fournir ?). Quand l'ensemble de ces hypothèses ne sont pas compatibles, ou que l'on veut simuler l'impact d'une

45. On notera également que dans sa version 2008, l'interface ne permet pas d'associer aux hypothèses et aux équilibres physiques obtenus un certain nombre d'évaluations relatives, en particulier, aux consommations induites en énergies ou en eau, aux emplois agricoles, ou encore aux émissions ou stockages de gaz à effet de serre : c'était un objectif de départ, et cela demeure un objectif de développement à plus ou moins long terme.

46. Variations de stocks excepté qui, pour la simulation de l'année de base (par exemple 2003) destinée à servir de référence pour l'étude d'autres simulations, sont intégrés dans une rubrique d'usage appelée « Résidu ». Cette rubrique « Résidu » permet également d'intégrer des montants liés à des erreurs ou imprécisions statistiques constatées dans le passé (cf. « Bilans des ressources et des emplois de biomasses alimentaires »), montants sans lesquels les bilans ne seraient pas parfaitement équilibrés, et sans lesquels les comparaisons de simulations ensuite effectuées seraient biaisées.

modification de l'une d'entre elles, il faut se doter de critères d'ajustement, qui sélectionnent ce qui varie et ce qui reste fixe, et qui explicite comment varie ce qui s'ajuste.

Dans un modèle d'équilibre économique tel qu'IMPACT de l'*International Food Policy Research Institute* (IFPRI), les règles de l'ajustement sont explicites, et exogènes. Le modélisateur les connaît avant de procéder à une simulation. Elles sont définies par un ensemble d'élasticités et de contraintes sur certaines variables physiques ou économiques qui aboutissent à des fonctions d'offre et de demande. En revanche, les quantités (productions, consommations, surfaces, etc.) et les prix d'équilibre sont généralement endogènes. Une difficulté souvent évoquée de ces modèles réside probablement dans le choix des élasticités, c'est-à-dire des paramètres représentant des réactions des agents aux variations de l'environnement économique : de combien augmente l'offre de blé dans telle région lorsque le prix du blé dans la région augmente de 1 % ? De combien diminue la consommation dans telle région si le prix dans cette région monte de 1 % ? De combien augmente la consommation de blé dans telle région lorsque le revenu de la région s'élève de 1 % ? Ces élasticités tentent de fournir des réactions stéréotypées de la production et de la consommation aux variations de prix ou de variables économiques homogènes aux prix (revenus notamment). Elles ont la grande qualité de rendre possible la réalisation simultanée de nombreux ajustements décentralisés tout en maintenant l'équilibre économique entre l'offre et la demande. Ainsi, une demande qui serait insatisfaite se traduirait de manière endogène par une hausse du prix qui engendrerait à la fois un accroissement de la production et une baisse de la consommation demandée. L'équilibre de l'offre et de la demande est donc assuré en permanence par l'ajustement des prix, et la demande (solvable) est toujours satisfaite par construction. Mais cette catégorie de modèles n'est pas adaptée pour représenter un monde orienté par la satisfaction de besoins (nécessités physiologiques, sociales, environnementales, etc.) ; dans ce type de modélisation, ce n'est pas, par exemple, le manque de nutriments de certaines personnes (insatisfaction d'un besoin) qui accroît la production, mais bien l'insatisfaction de leur demande, qui dépend de leur capacité d'achat, des préférences et de l'information.

Dans les simulations Agribiom, les quantités et autres grandeurs physiques sont exogènes (i.e. choisies par le groupe de travail). À chaque jeu d'hypothèses, on constate un certain déséquilibre, avec sa répartition par région et compartiment de biomasse : ce déséquilibre est l'information endogène (et pertinente) de la simulation. À partir de ce déséquilibre, il existe une infinité de façons de parvenir à l'ajustement puisque, pratiquement, chaque élément du choix est continu. De ce point de vue, le cheminement proposé par le groupe pour parvenir à l'équilibre, constitué d'une modification par tâtonnement de certains éléments suivant certaines règles[47], définit un ensemble de conditions suffisantes pour

47. Exemple : 1) si la région est déficitaire en productions végétales, elle importe les calories végétales nécessaires pour couvrir les besoins alimentaires humains et les calories végétales nécessaires pour l'autosuffisance en productions animale ; 2) les importations proviennent des régions excédentaires dans l'ordre décroissant des quantités excédentaires (les excédents du plus excédentaire sont d'abord exportés, etc.) ; 3) si les excédents mondiaux ne peuvent couvrir les besoins des régions déficitaires, les variables exogènes choisies par le groupe sont révisées à la hausse (surfaces, rendements…).

parvenir à l'équilibre entre les ressources et les emplois. Il peut également être intéressant, pour la réflexion, de ne pas équilibrer automatiquement l'économie afin d'exposer des excédents et des déficits régionaux, et débattre collectivement des différentes voies ou conditions pour y remédier. On peut aussi débattre des différentes sources de réponse de la production aux besoins en simulant des extrêmes : un accroissement de besoins peut, par exemple, engendrer un accroissement des rendements sans accroissement de surface cultivée, ou inversement. Les réponses extrêmes ne sont probablement pas les plus réalistes, mais elles peuvent être utiles à un exercice de prospective.

Ainsi, la valeur ajoutée de l'interface Agribiom réside dans l'apprentissage du rôle de chaque variable, modèle et règles de décision utilisés dans l'établissement d'un équilibre, et pas seulement dans l'image finale de l'équilibre des ressources et des emplois proposé. C'est en cela que l'interface est interactive, et qu'elle ne peut vraiment fonctionner que dans l'interaction.

3 - Une rétrospective de l'économie alimentaire mondiale

Bruno Dorin

Ce chapitre propose une rétrospective de l'économie alimentaire mondiale sur plus de quatre décennies (1961-2003), selon une division du monde en six grandes régions (celles retenues dans le cadre du *Millennium Ecosystem Assessment* [MEA]), à partir de matériaux générés par Agribiom (chapitre 2). Nous exposons donc ici des résultats d'utilisation d'Agribiom en rétrospectif, alors que les chapitres ultérieurs présenteront des résultats de simulations, avec les hypothèses et les interprétations associées à ces simulations prospectives.

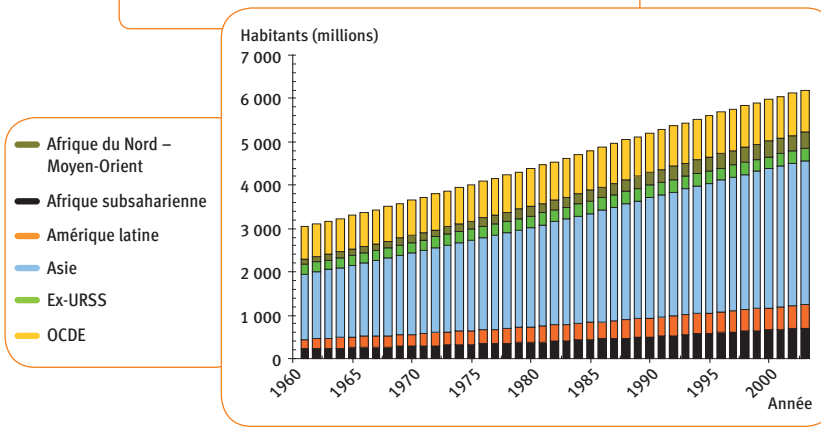
Ces matériaux rétrospectifs ont été mis à disposition du groupe de travail pour alimenter ses réflexions et ses débats. Ils ont inévitablement orienté sa vision du monde, sur le passé comme sur l'avenir. Ces matériaux étaient nombreux et ceux sélectionnés ici sont répartis en six rubriques : les populations humaines, les consommations alimentaires, l'occupation des terres, les productions et productivités alimentaires, l'usage des produits alimentaires et, enfin, le commerce alimentaire. Dans la phase prospective, ces rubriques feront l'objet d'hypothèses argumentées suivant les tendances passées et le scénario considéré à l'horizon 2050.

Populations humaines

La population humaine a plus que doublé en quatre décennies, passant de 3 milliards d'individus en 1961 à près de 6,2 en 2003, l'équivalent d'une croissance annuelle moyenne de 1,7 %. Plus de la moitié de cette population (54 % en 2003) est concentrée dans la zone Asie, région où la croissance démographique (1,9 % par an) n'a pourtant pas été la plus élevée (2,6 et 2,7 % en Afrique du Nord-Moyen-Orient et Afrique subsaharienne) (Figure 3.1). La zone Asie accueille dans une plus grande proportion encore les paysans de la planète puisqu'on y dénombre les trois quarts des actifs agricoles au début des années 2000 (Figure 3.2), soit plus d'un milliard d'individus vivant majoritairement en zones rurales avec leur famille et d'autres actifs dépendant directement du secteur (commerçants, fournisseurs d'inputs agricoles, transformateurs de produits alimentaires, etc.). Cette

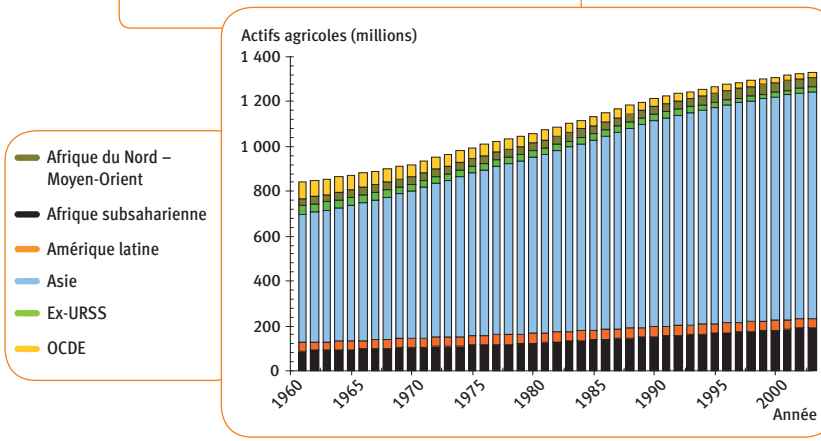
population active agricole n'a cessé de croître dans cette zone comme dans la plupart des autres régions (AL, ANMO et plus encore ASS), mais à un rythme nettement plus faible que l'urbanisation des populations (Figure A2.1). En 2003, une personne sur deux dans le monde vit en ville contre seulement une sur trois au début des années 1960. Mais il existe d'importantes différences régionales : le taux d'urbanisation de la population n'est que de

Figure 3.1. Populations humaines (1961-2003).



Les régions considérées sont ANMO, Afrique du Nord - Moyen-Orient ; ASS, Afrique subsaharienne ; AL, Amérique latine ; ASIE ; Ex-URSS ; OCDE.

Figure 3.2. Actifs agricoles (1961-2003).

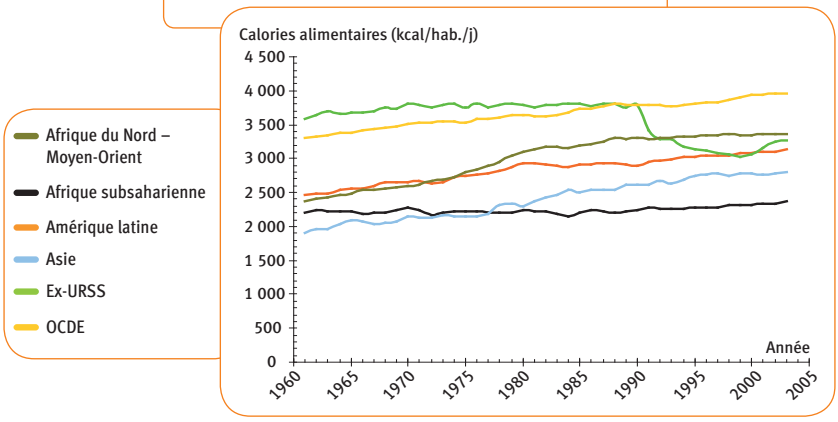


36 % dans les zones Asie et Afrique subsaharienne alors qu'il dépasse 75 % en Amérique latine et OCDE. Dans la région OCDE, la plus peuplée au monde après Asie (presque 1 milliard d'habitants en 2003), la population active agricole a pratiquement été divisée par 3,5 en 42 ans et ne dépasse guère 20 millions de personnes aujourd'hui.

Consommations alimentaires

Entre 1961 et 2003, les populations humaines doublent leur effectif et multiplient par 2,5 leur consommation alimentaire en calories, consommation qui avoisine 19 000 Gkcal/j au début des années 2000. Ainsi, à l'échelle mondiale, la consommation apparente par personne[48] passe d'un peu moins de 2 500 kcal/j en 1961 à un peu plus de 3 000 en 2003. Mais ces données masquent d'importantes disparités, entre régions du monde, entre pays de ces régions, et, au sein de ces pays, entre les ménages et au sein de ceux-ci. À l'échelle des régions du MEA, la disponibilité journalière moyenne avoisine 4 000 kcal par personne en 2003 dans la zone OCDE mais n'atteint toujours pas 2 500 kcal dans celle de l'Afrique subsaharienne (Figure 3.3). L'examen de ces différences révèle qu'elles peuvent en grande partie être attribuées à des consommations plus ou moins importantes de produits animaux (laits, viandes, œufs…). Ces derniers apportent près de 1 200 kcal sur 4 000 (30 %) dans la zone OCDE, alors qu'à l'autre extrême, en Afrique subsaharienne, ils ne contribuent qu'à une hauteur d'environ 135 kcal sur 2 400 (moins de 6 %) (Figures 3.4 et A2.2). Les produits animaux

Figure 3.3. Calories alimentaires disponibles pour l'alimentation (1961-2003).

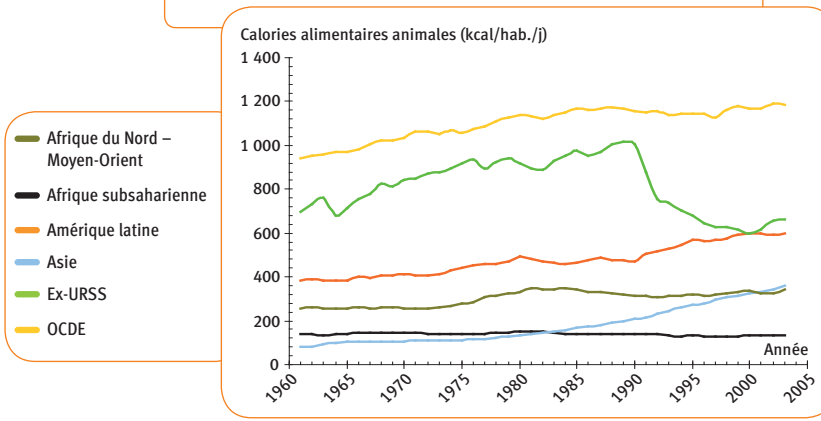


48. FOOD / POPU : cf. définitions, Chapitre 2, page 38 ; cette grandeur est souvent appelée « disponibilité alimentaire ».

étant particulièrement riches en protéines (viandes, œufs…) et/ou lipides (beurre, crème…), les différences régionales de disponibilité alimentaire s'avèrent particulièrement prononcées pour ces deux macronutriments ; selon nos estimations, en 2003 :

- 125 g/j/personne de protéines en OCDE (dont 60 % d'origine animale) contre 60 g en Afrique subsaharienne (dont 20 % d'origine animale) ;
- 165 g/j/personne de lipides (dont 55 % d'origine animale) en OCDE contre 48 g en Afrique subsaharienne (dont 20 % d'origine animale).

Figure 3.4. Calories alimentaires animales disponibles pour l'alimentation (1961-2003).



Occupation des terres

L'ESSENTIEL DE LA SURFACE DU GLOBE est couvert d'eaux de mers et d'océans, avec une petite partie de profondeur inférieure à 200 mètres où se concentrent les espèces marines et la pêche : ce sont les plateaux continentaux, dont la surface globale avoisine 2,4 milliards d'hectares. Ces plateaux annoncent des continents d'une superficie supérieure à 13 milliards d'hectares. L'occupation de cette superficie terrestre n'est pas objet de statistiques précises et concordantes (Chapitre 2), mais avec les données et pays considérés, en 2003, près de 30 % sont couverts en forêts (≃ 3,9 Gha), plus de 25 % en pâtures (≃ 3,4 Gha), presque 12 % en cultures (≃ 1,5 Gha), un peu plus de 3 % en eaux douces (≃ 0,4 Gha : lacs, rivières…), le solde s'élevant à 30 % (≃ 3,9 Gha) : zones désertiques à différentes altitudes et, dans une moindre mesure, zones artificialisées (résidences, industries, routes…). Entre 1961 et 2003, ce sont les surfaces cultivées qui ont connu le plus fort taux de croissance annuel (+ 0,29 % par an, avec environ + 175 Mha sur la période), suivies des surfaces en pâtures (+ 0,25 % par an, + 330 Mha) puis en eaux douces (+ 0,21 %

par an, + 35 Mha). Ces augmentations de surfaces se sont effectuées d'abord au détriment des forêts (- 0,23 % par an) avec approximativement 400 Mha perdus en 43 ans (Figure A2.3). À l'échelle des régions du MEA, l'extension des surfaces cultivées (Figure 3.5) a été particulièrement prononcée en Amérique latine (+ 1,13 % par an), Afrique subsaharienne (+ 0,81 % par an) et Asie (+ 0,54 % par an), les deux premières zones n'exploitant pas 20 % de leur potentiel cultivable (Figure A2.4) alors que ce taux dépasse 80 % en Asie depuis 1985

Figure 3.5. Surfaces agricoles cultivées (1961-2003).

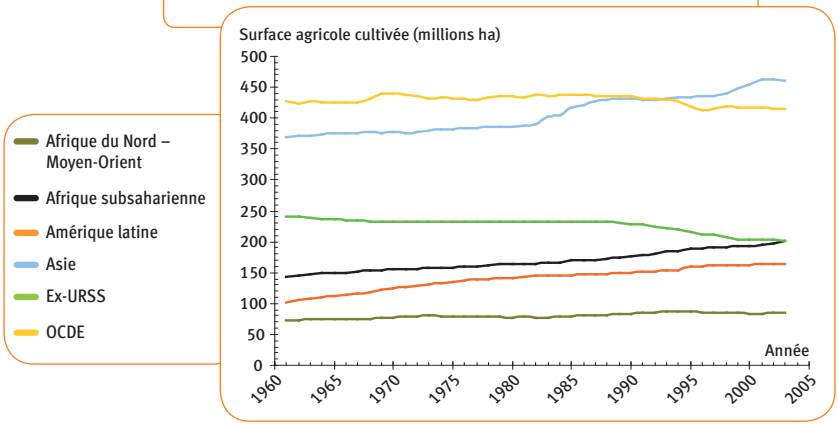
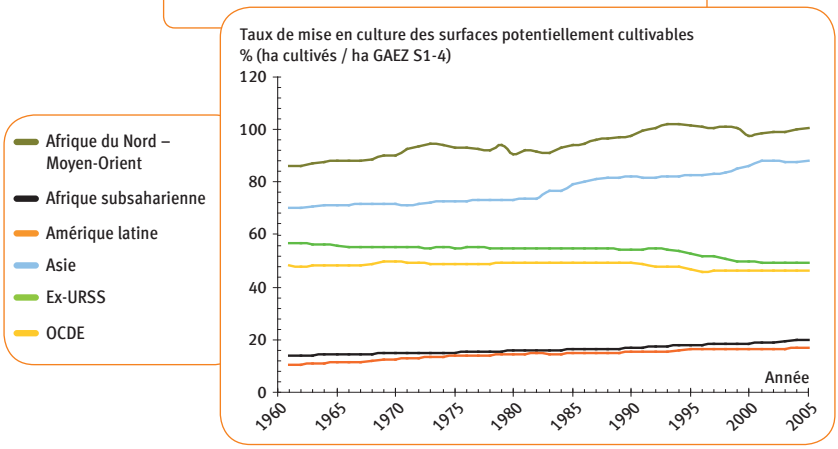


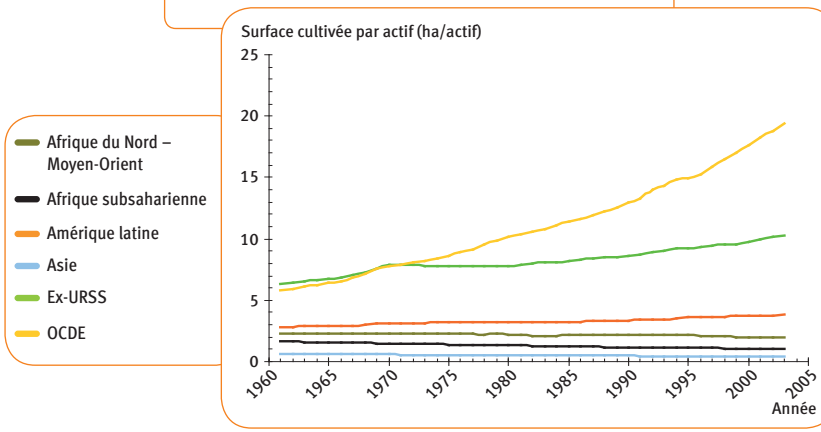
Figure 3.6. Taux de mise en culture des surfaces potentiellement cultivables (1961-2003).



GAEZ : *Global Agro-Ecological Zones*

(100 % en Afrique du Nord-Moyen-Orient depuis 1990) (Figure 3.6). Dans les zones OCDE et surtout Ex-URSS, les surfaces cultivées ont diminué au contraire (de respectivement, - 0,06 % et - 0,41 % par an). Avec une diminution conjointe du nombre d'actifs agricoles, la surface cultivée par actif dépasse 10 ha dans la zone Ex-URSS et approche 20 ha en OCDE (2003), alors qu'elle est inférieure à 4 ha ailleurs, voire 0,5 ha en Asie (Figure 3.7).

Figure 3.7. Surface agricole cultivée par actif agricole (1961-2003).



Productions et productivités alimentaires

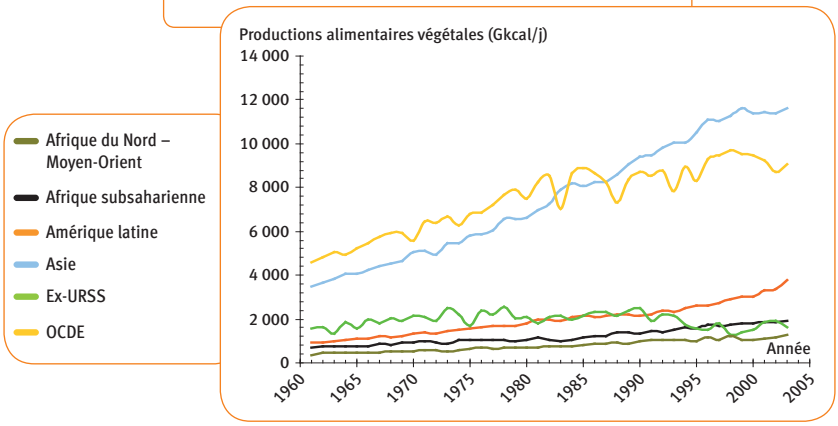
Selon nos estimations avec les données à notre disposition, la production mondiale brute[49] de produits alimentaires avoisine 33 200 Gkcal/j en 2003, avec 62 % de cette énergie venant de glucides (≃ 1 883 Mt en 2003), 24 % de lipides (≃ 322 Mt) et 14 % de protéines (≃ 420 Mt). Entre 1961 et 2003, cette production d'énergie (kcal/j) a été multipliée par 2,5[50] (Figure A2.5) sans bouleversement significatif dans la part d'origine végétale, animale ou aquatique de ces calories. Le rang des régions productrices a par contre changé en quatre décennies. Durant les années 1980, pour les productions végétales, la zone Asie devient première productrice mondiale au lieu de l'OCDE (qui demeure par contre première productrice de produits animaux), et l'Amérique latine arrive troisième à la place de l'Ex-

49. Produits végétaux, animaux et aquatiques confondus ; certains servant à la production des autres (concentrés végétaux pour animaux par exemple), une telle addition de produits demeure délicate, tout comme l'établissement d'une comptabilité nette.

50. Entre 1961 et 2003, cette production d'énergie (kcal/j) à été multipliée par 2,3 pour les glucides, 2,7 pour les protéines et 3,0 pour les lipides.

URSS dont la production alimentaire avoisine désormais celle de la région Afrique subsaharienne (Figure 3.8). Ces augmentations de production sont liées à une extension des surfaces cultivées (cf. « Occupation des terres » page 58), mais aussi – et avec plus d'importance – à une augmentation des calories alimentaires extraites par hectare cultivé. À l'échelle mondiale, cette production par hectare cultivé (en cultures alimentaires ou non) a été multipliée par plus de 2,2 entre 1961 et 2003, passant de 8 610 à 19 190 kcal/ha/j (9 à 21 quintaux/an en équivalent blé), niveaux qui demeurent plus de 100 fois supérieurs à ceux des espaces aquatiques qui ne sont globalement pas « cultivés » par l'homme (Figure A2.6). Cette croissance de la production alimentaire terrestre par hectare cultivé s'explique principalement par des augmentations de rendement[51] par récolte et par année (multiplication du nombre de récoltes par an), croissances permises par des facteurs de production apportés en plus grande quantité et/ou mieux combinés ou maîtrisés (eau, engrais, semences, lutte contre les ravageurs, mécanisation, etc.). C'est aujourd'hui dans la zone Asie que la production de calories alimentaires par hectare cultivé est, en moyenne régionale, la plus élevée au monde (plus de 25 000 kcal/ha/j). C'est là aussi qu'elle a le plus fortement progressé entre 1961 et 2003 (+ 2,35 % par an) après l'Afrique du Nord-Moyen-Orient (+ 2,7 %), et avant l'Amérique latine (+ 2,25 %), l'OCDE (+ 1,7 %), l'Afrique subsaharienne (+ 1,55 %) et l'Ex-URSS (+ 0,5 %) (Figure 3.9). Dans la zone OCDE, la croissance de la production alimentaire par hectare cultivé s'est accompagnée d'une multiplication par près de 7 de la production alimentaire par actif (presque 425 000 kcal/j en moyenne régionale 2003, contre moins

Figure 3.8. Productions alimentaires végétales (1961-2003).



51. Plutôt que par une augmentation – au sein des espaces cultivés – des surfaces de productions alimentaires au détriment des surfaces de productions non alimentaires (fibres, caoutchouc, tabac… cultures fourragères).

de 90 000 pour les autres régions : Figure 3.10), envolée permise par la poursuite de l'exode agricole (Figure 3.2), l'extension des surfaces cultivée par actif (Figure 3.7), et une très importante motorisation (tracteurs, moissonneuses, etc.) substituant des forces de travail humaines et animales.

Figure 3.9. Productions alimentaires végétales par hectare agricole cultivé (1961-2003).

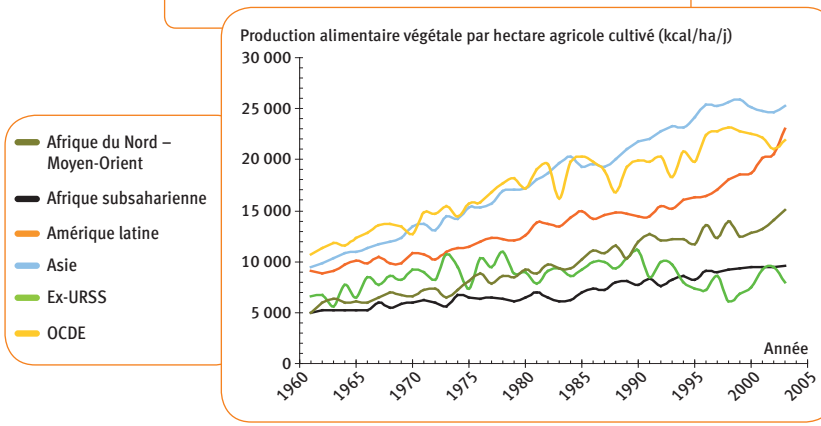
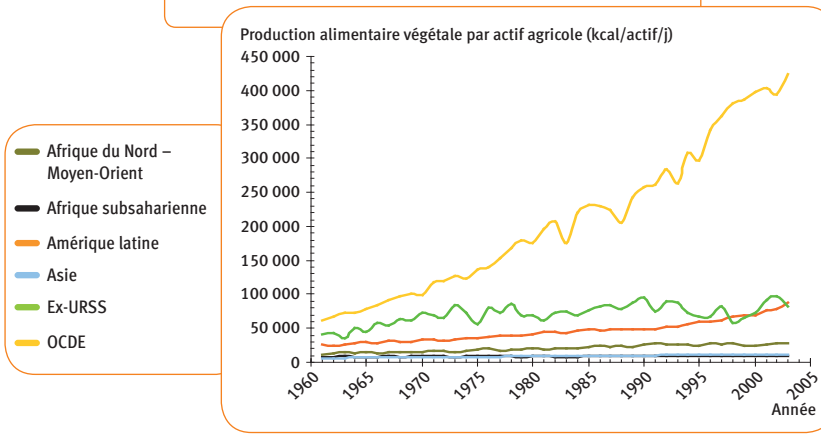


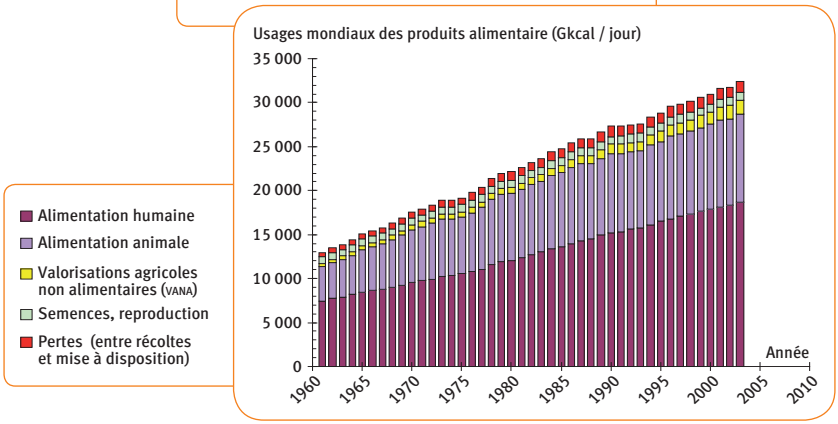
Figure 3.10. Productions alimentaires végétales par actif agricole (1961-2003).



Usages des produits alimentaires

La consommation mondiale brute de calories alimentaires avoisine 33 000 Gkcal/j en 2003, l'équivalent du montant de leur production (cf. « Production et productivité alimentaires, page précédente) aux imperfections statistiques et variations de stock près. Comme pour les productions, plus de 88 % de ce montant provient de produits végétaux, près de 11 % de produits animaux (terrestres) et moins de 1 % de produits aquatiques (essentiellement animaux). Ces calories sont orientées vers divers usages après qu'une partie soit perdue entre la production et la mise à disposition aux unités économiques (≃ 4 % en 2003) (Figure 3.11). Parmi ces usages figurent les semences et autres formes destinées à la reproduction des productions (≃ 3 %), ainsi que des valorisations agricoles non alimentaires (≃ 5 % : lubrifiants, cosmétique, biocarburants…). L'essentiel demeure cependant utilisé pour nourrir les hommes et les animaux, dans des proportions très variables selon les régions pour les produits végétaux (Figure A2.7). Ainsi, dans les zones Afrique subsaharienne et Asie, plus de 70 % des disponibilités végétales de 2003 servent à l'alimentation directe des hommes, alors que ce taux tombe à moins de 35 % en OCDE, région qui consacre depuis longtemps plus de 55 % de ces disponibilités à l'alimentation des animaux. Cette part des calories végétales alimentaires orientée vers l'alimentation des animaux tend à augmenter depuis le début des années 1960 dans les zones Amérique latine, Afrique du Nord-Moyen-Orient et Asie où elle se situe désormais entre 20 et 40 % (Figure A2.8), suivant des modalités par ailleurs modélisées (cf. Fonctions de production animale, chapitre 2). La part des calories végétales alimentaires orientée en « Valorisation agricole non alimentaire » (VANA) tend également à augmenter dans la plupart des régions, plus particulièrement depuis les années 1990, notamment en Amérique latine et OCDE où elle dépasse désormais 5 %.

Figure 3.11. Usages mondiaux des produits alimentaires (1961-2003).

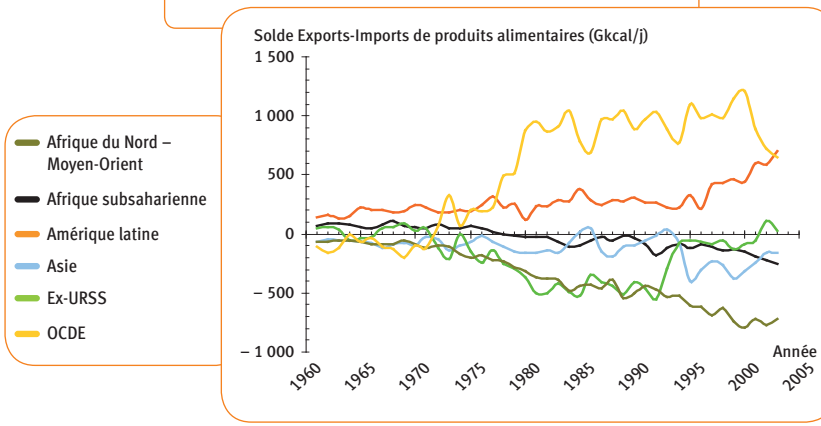


Commerce alimentaire

En quatre décennies, le commerce mondial de produits alimentaires s'est fortement accru puisque les échanges dépassent 7 000 Gkcal/j en 2003 (92 % issus de végétaux, 6 % d'animaux terrestres, 2 % de milieux aquatiques) contre moins de 1 500 en 1961. Ces ordres de grandeur témoignent d'un recours accru des nations au commerce international, avec la croissance parallèle des transports à base d'énergies fossiles. Durant la période, le sens du commerce international de calories alimentaires a également beaucoup évolué. L'observation des soldes nets d'échange par région MEA (Exports totaux - Imports totaux, Chapitre 2) (Figure 3.12), et la mise en rapport de ces soldes avec les consommations régionales (Figures 3.13 et A2.9), permettent de conclure sur au moins cinq points :

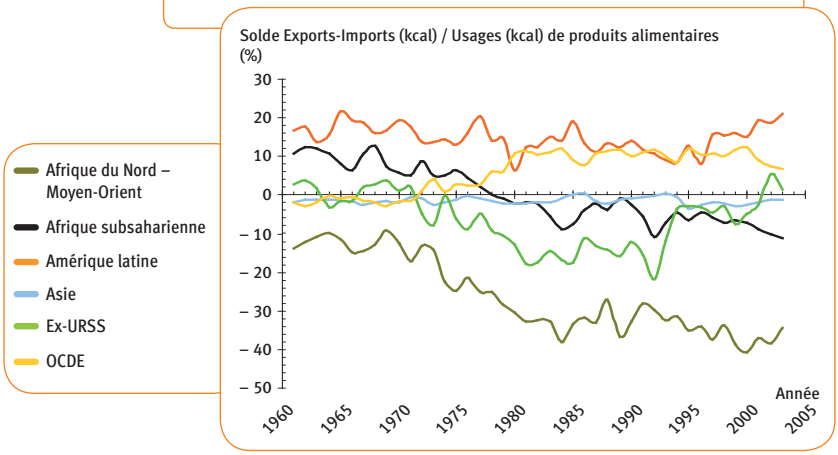
- la zone OCDE, grande consommatrice de calories alimentaires, est aussi devenue une importante exportatrice de calories alimentaires, végétales et animales ;
- la zone Amérique latine, traditionnellement exportatrice nette de calories alimentaires (produits oléagineux et sucriers avant tout), a conforté sa position alors qu'elle augmentait parallèlement la disponibilité calorique moyenne par habitant ;
- la zone Asie conserve une relative indépendance en calories alimentaires (équilibre entre les exports et les imports) alors que la disponibilité régionale par personne a également augmenté, et que l'effectif des personnes est passé de 1,5 à près de 3,4 milliards d'individus entre 1961 et 2003 ;
- les recettes d'exportation de la région Afrique du Nord-Moyen-Orient permettent à cette dernière d'importer et de consommer une quantité croissante de calories alimentaires, y compris pour nourrir et élever localement des animaux ;

Figure 3.12. Solde Exports-Imports de produits alimentaires (1961-2003).



• dans la zone Afrique subsaharienne, les productions locales et les quantités nettes importées, bien qu'en augmentation, n'ont pas été suffisamment élevées pour augmenter sensiblement la disponibilité calorique par personne qui demeure la plus basse au monde (Figure 3.3).

Figure 3.13. Taux d'indépendance en calories alimentaires (1961-2003).



4 - Choix et principes de construction des scénarios

Sandrine Paillard, Tévécia Ronzon et Sébastien Treyer

La multiplication des études et réflexions sur le système agricole et alimentaire mondial à long terme tient à la certitude, de plus en plus partagée, selon laquelle la poursuite des tendances actuelles en matière de consommation et de production agricoles rencontre des limites que seules des ruptures dans les comportements et les technologies permettront de surmonter (Collomb, 1999 ; IAASTD, 2009 ; Myers, 1991 ; World Bank, 2008).

Cette certitude se trouve renforcée par trois tendances qui apparaissent aujourd'hui inéluctables : 1) l'augmentation (encore) importante de la population mondiale, 2) le changement climatique et 3) la raréfaction et le renchérissement de l'énergie fossile. Face à ces tendances, plusieurs études ont mis en évidence une possible stagnation des rendements obtenus pour diverses cultures dans le cadre des systèmes de production actuels (IAASTD, 2009 ; Ladha *et al.*, 2003), et le *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA) (MEA, 2005c) a souligné la dégradation des écosystèmes et les menaces qu'elle entraîne pour les multiples services qu'ils rendent à l'humanité.

Ces enjeux étant placés au cœur de la réflexion, nous avons choisi d'analyser les scénarios du MEA, en particulier le scénario *Global Orchestration*, sous l'angle des systèmes agricoles et alimentaires et de construire un seul nouveau scénario, Agrimonde 1, qui vise à explorer le sens et les conditions de développement d'agricultures et d'alimentations durables. Ce chapitre explicite les motivations de ce choix de scénarios et les principes qui ont présidé à leur construction.

Agrimonde GO et Agrimonde 1, des scénarios construits en référence et en rupture par rapport aux scénarios du MEA

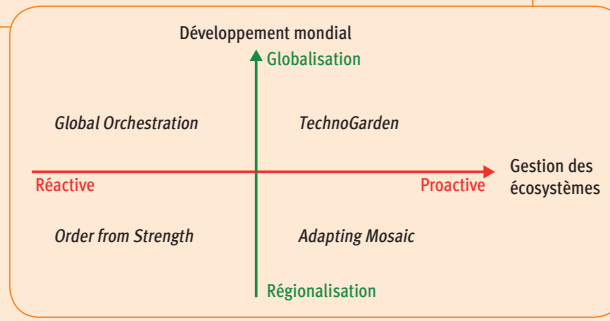
Les scénarios du MEA font référence dans les débats internationaux (Encadrés 4.1 et 4.3 et Figure 4.1). Ils ont été construits pour questionner le futur des écosystèmes ; mais leurs principes de construction ne sont pas forcément les plus pertinents pour débattre du futur des systèmes agricoles et alimentaires. Or il est intéressant de confronter les deux types de questionnement, l'un relatif aux écosystèmes et l'autre relatif aux activités

Encadré 4.1 – Le *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA)

Le *Millennium Ecosystem Assessment* (Évaluation des écosystèmes pour le millénaire), vaste opération d'évaluation et de prospective internationale lancée par l'Organisation des Nations unies en 2001, s'est déroulé pendant quatre ans et a mobilisé plus de 2 000 personnes de 95 pays, experts essentiellement. Les travaux, qui ont impliqué plusieurs disciplines scientifiques (sciences de la vie et des écosystèmes, économie, sociologie, etc.), ont abouti à la publication de plusieurs rapports d'évaluation destinés aussi bien aux responsables politiques qu'aux acteurs économiques et ceux de la société civile (les rapports du MEA sont consultables sur le site Internet du MEA : www.millenniumassessment.org). Le MEA avait pour objectif d'« évaluer les conséquences du changement des écosystèmes sur le bien-être humain et d'établir des bases scientifiques pour les actions nécessaires à l'amélioration de la conservation et de l'utilisation durable des écosystèmes, ainsi que de leurs apports au bien-être humain » (Watson et Zakri, 2005). Différentes échelles géographiques – planétaire, régionale, nationale, locale et celle des bassins versants – sont prises en compte et articulées les unes aux autres. Neuf écosystèmes sont distingués et analysés, l'état de tous les écosystèmes, des plus « anthropisés » aux plus préservés, étant ainsi étudié et évalué.

À côté du travail d'évaluation, les experts ont construit quatre scénarios, présentant des évolutions sur trois périodes : 2000-2015, 2015-2030 et 2030-2050, sur la base de données établies pour 2050, et le cas échéant, de courbes d'évolution des tendances prolongées jusqu'à 2100. Les scénarios du MEA se différencient les uns des autres, d'une part, par leur cadre géopolitique (régionalisation versus mondialisation) et, d'autre part, par le caractère respectivement proactif ou réactif des politiques et des régulations relatives à la protection des écosystèmes. Ils se caractérisent par des priorités sociétales différentes notamment en termes de réduction de la pauvreté et de protection des écosystèmes et des ressources naturelles.

Figure 4.1. Différenciation des scénarios du MEA selon le cadre géopolitique (régionalisation/mondialisation) et selon le caractère (proactif / réactif) des politiques et des régulations relatives à la gestion des écosystèmes.



Source : MEA, 2005b

humaines qui ont le plus d'impact sur les écosystèmes. D'ailleurs, bien que cet objectif n'ait pu aboutir, les scénarios du MEA devaient servir de base à la construction de scénarios dans le cadre de l'exercice *International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development* (IAASTD) (IAASTD, 2009). Nous avons donc souhaité conduire une analyse poussée des scénarios du MEA, en les traduisant, grâce à la plateforme Agrimonde, en scénarios agricoles et alimentaires.

Par ailleurs, les scénarios du MEA sont exploratoires, c'est-à-dire qu'ils explorent les conséquences d'inflexions de tendances à partir de la situation présente. Aucun d'entre eux n'est construit comme un scénario normatif, à partir de l'image d'un avenir souhaité ou, au contraire, redouté. Michel Griffon, quant à lui, à la suite de Gordon Conway (Conway, 1997), a proposé dans son ouvrage de 2006, *Nourrir la planète*, un scénario décrivant un système agricole et alimentaire recherchant toutes les caractéristiques de la durabilité, explorant le potentiel et les conditions d'une « révolution doublement verte » (Griffon, 2006). Ce scénario permet de s'interroger sur les technologies de production agricole susceptibles à la fois de préserver les écosystèmes et de permettre le développement par l'agriculture dans les pays pour lesquels le manque de capitaux limite la mise en œuvre de systèmes productifs intensifs en équipements et en intrants.

Nous avons donc voulu construire un scénario souhaitable, en s'inspirant de façon libre du scénario *Révolution doublement verte* (R2V) de Michel Griffon. Il s'agissait de construire un nouveau scénario à partir de la même question de départ (Quelles sont les technologies de production durables à la fois en termes environnementaux et de réduction de la pauvreté par le développement agricole ?) et en explorant non seulement les inflexions envisageables du côté de l'offre agricole mais aussi du côté de la demande de produits agricoles alimentaires et non alimentaires.

Ainsi, le scénario proposé, Agrimonde 1 est un scénario normatif, dans le sens où il envisage une situation en 2050 notablement différente de celle d'aujourd'hui et qu'il interroge la possibilité d'identifier un chemin qui y mène (Encadré 4.2). Il est construit en référence

Encadré 4.2 – Les différents types de scénarios en prospective

Les scénarios peuvent être distingués en fonction du positionnement du concepteur du scénario par rapport au temps. Le **scénario exploratoire** est ainsi construit par extrapolation des tendances passées et présentes (on part du passé pour imaginer le futur) tandis que le **scénario normatif** ou d'anticipation est construit de façon rétroprojective, c'est-à-dire en partant d'une vision souhaitée ou au contraire redoutée du futur pour remonter vers le présent.

Les scénarios peuvent également être distingués en fonction de la nature des hypothèses de départ faites sur l'évolution des variables clés. Le **scénario tendanciel** correspond ainsi à une hypothèse globale de prolongement des tendances à l'œuvre et des dynamiques récemment enclenchées (« au fil de l'eau ») tandis que le **scénario contrasté** renvoie à la notion de rupture par rapport au présent.

Source : Commissariat général du Plan, 2004

aux scénarios issus du MEA et de Michel Griffon. Il s'agit d'un scénario de rupture avec les scénarios du MEA et avec les principales tendances aujourd'hui à l'œuvre. Son intérêt n'est cependant pas prescriptif mais heuristique. Ce scénario suppose qu'en 2050, le monde aura su mettre en œuvre un système agricole et alimentaire durable. L'objectif est de mieux comprendre le sens d'un tel développement, les dilemmes et les principaux défis qu'un tel scénario implique, au travers des inflexions et ruptures qu'il suppose.

Concrètement, les scénarios du MEA et de Michel Griffon ont constitué une base de référence et de comparaison dans l'élaboration des hypothèses d'Agrimonde 1. De plus, nous avons souhaité « reconstruire » de façon complète un scénario du MEA, *Global Orchestration*, afin de pouvoir comparer Agrimonde 1 à un scénario plus tendanciel en matière de consommation alimentaire et différent dans les priorités sociétales. *Global Orchestration* est en effet le scénario du MEA dans lequel la réduction de la pauvreté et de la malnutrition est la plus élevée (Encadré 4.3). Celle-ci repose à la fois sur la libéralisation des échanges et sur des progrès techniques majeurs en matière de rendements agricoles. La priorité donnée au développement économique se solde néanmoins dans ce scénario par une gestion seulement réactive des écosystèmes et des problèmes environnementaux. Ce scénario est ici appelé « Agrimonde GO », parce qu'il est reconstruit sur la base de la méthode de quantification adoptée dans la plateforme Agrimonde et parce que les hypothèses de population retenues pour ce scénario ne sont pas celles envisagées dans le MEA. En effet, pour réellement confronter le scénario Agrimonde 1 à un autre scénario, il a semblé important de faire les mêmes hypothèses de 'pression démographique' dans les deux scénarios.

Encadré 4.3. Les scénarios du *Millennium Ecosystem Assessment*

Global Orchestration

La mondialisation règne en maître et s'épanouit dans tous les domaines ; elle rime avec croissance économique et commerce international qui ne connaît plus l'entrave des frontières. Dans ce monde caractérisé par la libéralisation, les pays coopèrent aisément, afin d'améliorer le bien-être social et économique de toutes les populations, mais aussi de protéger et de mettre en valeur les services et les biens publics mondiaux (éducation, santé, infrastructures, technologies…). Les conditions sont remplies pour que les problèmes environnementaux, tel que le changement climatique, soient traités au niveau mondial, grâce à la coopération internationale. Mais comme le souci de l'environnement passe en second, après d'autres priorités – croissance économique et sociale, amélioration du bien-être matériel des hommes – les problèmes environnementaux qui menacent le bien-être humain (pollution, érosion, changement climatique) ne sont pris en considération que lorsqu'ils deviennent aigus. Comme les institutions internationales ont une approche réactive de la gestion des écosystèmes, elles sont prises au dépourvu par les événements survenant en raison d'interventions différées ou par des changements régionaux imprévus. La société a confiance dans le fait que la connaissance et la technologie nécessaires pour faire face aux enjeux environnementaux se développeront si nécessaire, comme cela le fut dans le passé. Le scénario met en lumière les risques de « surprises » écologiques, dans un tel contexte, comme par

exemple, l'émergence de maladies infectieuses. Ce scénario qui, des quatre scénarios du MEA, se caractérise à la fois par le plus faible accroissement de la population mondiale et la plus forte croissance économique, ainsi que le plus fort taux de développement technologique, présente aussi la plus forte progression des revenus et les plus grands progrès en matière d'équité.

TechnoGarden

La mondialisation et la prépondérance de la technologie caractérisent le monde de ce scénario, que la préoccupation, primordiale, de l'environnement conduit à une gestion proactive des écosystèmes. L'interconnexion planétaire facilite la circulation de l'information comme celle des hommes et des produits de consommation, notamment alimentaires. La coopération prévaut et se manifeste aussi bien par l'intégration économique entre certaines régions du monde que par la multiplication des institutions et des accords internationaux pour la préservation et la gestion de l'environnement. Les conditions sont optimales pour apporter une réponse efficace au changement climatique et mettre en œuvre une politique mondiale de réduction des émissions de gaz à effets de serre. Objets d'un fort investissement, les technologies, particulièrement environnementales, se développent massivement, sous des formes nouvelles et variées. Conjuguée à l'expansion de l'éducation, la libéralisation des échanges contribue également à la circulation mondiale et à la diffusion des innovations. Une attention particulière est portée à l'agriculture pour son lien étroit avec la problématique environnementale. S'appuyant sur le progrès technologique, elle prend les voies de la « révolution doublement verte » et de l'agriculture de précision ; elle se diversifie, notamment par le développement de la multifonctionnalité, et elle s'intensifie, par l'extension des cultures OGM. Le rôle dévolu à la technique s'exprime socialement par l'ascendant et la puissance des technocrates dont procède « une société civile technocratique d'ingénieurs et d'économistes ». Si le souci du long terme et la régulation des biens publics mondiaux et régionaux sont globalement sources d'amélioration pour l'environnement, le haut niveau de technicité déployé génère cependant des risques technologiques importants ; dépendants d'une gestion humaine continue, les écosystèmes peuvent se fragiliser, notamment du fait de leur moindre résilience.

Order From Strength

Le rejet de la mondialisation, perçue comme une source d'instabilité et de menace, conduit à un cloisonnement entre les régions du monde, propice à l'exacerbation des tensions entre pays et susceptible de produire des reconfigurations des alliances passées. Dans le monde de ce scénario, le repli national domine, commandé par le souci de préserver la sécurité militaire et économique des pays. Chacun privilégie la défense et la sauvegarde de son intérêt, meilleur moyen de se protéger contre l'insécurité, notamment économique. Habitées par un pessimisme partagé au sujet des relations internationales et mues par un même besoin de protection, les nations se préoccupent avant tout du maintien de leur sécurité, de leur accès aux ressources et du bien-être de leur peuple. La stagnation de l'économie représente un facteur de renforcement du cloisonnement qui se manifeste aussi bien par un échec de l'OMC, que par l'apparition d'une fracture numérique entre pays et en leur sein. Comme dans *Global Orchestration*, les préoccupations environnementales sont secondaires. Le

faible intérêt porté aux biens publics mondiaux s'accompagne d'une approche individualiste et réactive dans la gestion des écosystèmes, qui ne font au mieux l'objet que d'une attention locale. Prévaut la croyance en la capacité des hommes à trouver les solutions technologiques nécessaires pour résoudre les problèmes environnementaux, lorsqu'ils viendront à se poser.

Adapting Mosaic

La prévalence du régional et du local, résultant de la méfiance à l'égard de la mondialisation, confère au monde l'aspect d'une « mosaïque » disparate. Le renforcement des pouvoirs locaux et de la société civile constitue un trait commun à toutes les régions. Le rôle prépondérant joué par les différents acteurs de la société civile va de pair avec l'affaiblissement des institutions internationales. Mais la régionalisation des marchés et des politiques n'est pas synonyme de cloisonnement et de repli ; si au niveau mondial, les barrières commerciales se renforcent pour les biens et les produits, elles disparaissent pratiquement pour l'information, qui circule librement, de même que les compétences. Dans le monde entier, le capital social et le capital humain font l'objet d'investissements importants. La « gestion intégrée », l'« adaptation locale » et l'« apprentissage » sont les maîtres-mots de ce scénario qu'incarne l'ère de la « *Glocalization* ». La gestion des écosystèmes est proactive ; fondée sur des initiatives locales et guidée par une meilleure connaissance du fonctionnement des écosystèmes, elle met en œuvre des solutions locales. La diversité et l'hétérogénéité des modes de gestion des écosystèmes produisent des résultats variés selon les régions. Dans l'ensemble, la situation de l'environnement s'améliore au niveau local, mais elle se détériore au niveau mondial, le changement climatique, la pollution et l'état des ressources halieutiques s'aggravant.

Source : d'après MEA, 2005b

Il est à noter que le choix de construction d'un scénario en référence à ceux du MEA ou de Michel Griffon a conduit à retenir le même horizon temporel, à savoir 2050, et le même découpage géographique en six grandes régions : Afrique du Nord - Moyen-Orient (ANMO), Afrique subsaharienne (ASS), Amérique latine (AL), Asie, Ex-URSS et OCDE (Figure 2.2).

Les principes de construction des scénarios

Le scénario Agrimonde 1 se veut un des scénarios possibles de développement d'agricultures et d'alimentations durables. Il cherche à explorer le concept de développement durable dans ses dimensions classiques (économique, sociale, environnementale), mais aussi en ce qui concerne certaines des dimensions de l'alimentation relatives à la santé. En tant que scénario possible de développement d'agricultures et d'alimentations durables, Agrimonde 1 suppose un monde qui, en 2050, aura su répondre au défi de garantir à tous l'accès à une alimentation saine tout en protégeant les écosystèmes.

Le monde en 2050 décrit dans ce scénario repose donc tout d'abord sur des conditions d'alimentation durables, qui concernent à la fois la réduction des inégalités face à l'ali-

mentation et à la santé, au travers d'une réduction drastique de la sous-alimentation mais aussi des excès d'apports nutritionnels. En 2050, le monde aura par ailleurs mis en œuvre un ensemble d'actions d'intensification des systèmes de production (augmentation des rendements à l'hectare) et d'augmentation des productions dans la plupart des régions. Ces actions auront permis de répondre à un triple objectif : faire face à la croissance de la demande, permettre la croissance des revenus tirés de l'agriculture dans les espaces ruraux des pays du Sud et enfin mettre au point et diffuser des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement. Nous avons alors exploré la diversité des trajectoires possibles d'intensification écologique en nous référant notamment au scénario R2V proposé par Michel Griffon et à sa définition du concept d'intensification écologique (Encadré 4.4). La nature, les atouts et les limites d'une telle trajectoire technologique ont ainsi pu être questionnés en fonction des contextes régionaux et des objectifs poursuivis.

Encadré 4.4 – Le concept d'intensification écologique

L'intensification écologique consiste à augmenter les rendements de manière naturelle en utilisant au maximum les fonctionnalités écologiques et biologiques des écosystèmes. Globalement, cinq voies la caractérisent.

La première est celle des approches écologiques de la fertilité. Elles reposent sur l'intensification du cycle de la matière organique, en augmentant la part de la biomasse restituée au sol et en favorisant les conditions d'humidité et de température pour dégrader la biomasse. La technique utilisée est celle des cultures de couverture végétale et des mulchs végétaux. En ce sens, l'agriculture s'inspire des phénomènes naturels qui assurent la viabilité et la fertilité des grands écosystèmes pérennes comme la forêt tropicale humide et la prairie. Plus classiquement, on peut utiliser les matières organiques, les effluents d'élevage et les déchets organiques urbains. On peut aussi espérer, par la recherche génétique, doter les principales céréales alimentaires de la capacité de fixer l'azote de l'air de manière naturelle, comme le font les légumineuses, ou de mieux utiliser le phosphore des sols.

La deuxième voie est celle de la gestion de l'eau dans l'ensemble d'un écosystème. Il s'agit de conserver l'eau pour faire face aux sécheresses, et de mieux organiser les flux hydriques violents – réguler les crues – afin de limiter l'érosion et d'éviter les pollutions. Cela suppose l'aménagement des paysages selon des principes écologiques.

La troisième voie est celle de la gestion intégrée des grands cycles biogéochimiques comme le cycle du carbone et le cycle de l'azote. L'agriculture et la foresterie sont de puissants moyens de séquestrer du carbone dans les sols et dans la biomasse afin de réduire les concentrations en gaz à effet de serre dans l'atmosphère. De plus, sous forme de matière organique dans les sols, le carbone contribue à la fertilité. On peut aussi attendre de la recherche génétique qu'elle permette d'intégrer dans les principales plantes cultivées les capacités de contenir plus de carbone ou d'en limiter les pertes. Plus simplement, la combinaison des plantes cultivées dans un même espace et leur succession rapprochée dans le temps (agroforesterie, cultures associées) peuvent faciliter le recyclage des éléments minéraux qui, sinon, sortiraient du système.

La quatrième voie est celle de la lutte intégrée contre les maladies et les ravageurs, et notamment son volet lutte biologique. Beaucoup de ravageurs sont eux-mêmes contrôlés par des prédateurs, beaucoup d'insectes sont la proie d'autres insectes ou d'oiseaux. Les écosystèmes rassemblent en grand nombre des relations très complexes entre hôtes et pathogènes (bactéries, champignons microscopiques, insectes, vers,...). La connaissance fine de ces relations permet d'intervenir par des méthodes de lutte intégrant toutes sortes de stratégies possibles : lutte biologique, lutte chimique ciblée, résistance des plantes aux maladies. La génétique peut aussi permettre d'identifier des voies naturelles de contrôle des populations de ravageurs et de les systématiser. Dans le domaine de la médecine vétérinaire, on commence de la même manière à utiliser des méthodes « d'écopathologie », s'inspirant d'une approche écologique des maladies.

La cinquième voie est celle de l'utilisation de la biodiversité. On sait que la dégradation des écosystèmes (leur régression écologique) s'accompagne de pertes de biodiversité. La présence dans des écosystèmes de pools d'espèces liées de manière complexe avec le milieu donne à ces écosystèmes des propriétés intéressantes : capacités de recyclage et de limitation des pertes de nutriments, résistance aux perturbations, haute productivité. Au fur et à mesure que les connaissances avancent, on sera en mesure de préciser comment, en agissant sur la biodiversité, on pourra contribuer à l'amélioration de la productivité et à la résistance des écosystèmes aux chocs climatiques ainsi qu'aux maladies et aux ravageurs.

Au total, penser une agriculture qui soit plus productive, plus économe en intrants chimiques, et utilisant les fonctionnements des écosystèmes comme base pour les techniques de production, amène à avoir recours à une véritable ingénierie écologique, domaine technique qui intègre les apports de l'agronomie, science à partir de laquelle s'était construite l'agriculture moderne pendant le XX^{e} siècle.

Source : Griffon, 2002

Afin de construire un scénario qui puisse répondre au défi de garantir à tous l'accès à une alimentation saine tout en protégeant les écosystèmes, deux principes généraux de construction du scénario Agrimonde 1 ont été adoptés et également appliqués à la construction d'Agrimonde GO de manière à faciliter la comparaison entre les deux scénarios.

1er principe. Apprécier la capacité de chaque grande région du monde à satisfaire ses besoins alimentaires en 2050 et donc envisager les échanges interrégionaux seulement après avoir évalué dans quelle mesure les productions agricoles de chacune des régions permettent de couvrir les besoins locaux. Ce principe vise à centrer la réflexion sur les facteurs alimentaires et agronomiques et sur les actions à mettre en œuvre à cette fin. Il s'agit donc d'explorer, pour chacune des régions, les trajectoires technologiques, organisationnelles et institutionnelles possibles en matière d'alimentation et d'agriculture, permettant à la fois d'assurer la sécurité alimentaire par des augmentations des rendements et des surfaces cultivées là où cela est faisable, et le respect de l'environnement

et des ressources naturelles. Cela permet, par ailleurs, d'identifier les zones qui auront le plus de mal à couvrir les besoins alimentaires de leur propre population.

2e principe. Appréhender les effets des évolutions démographiques à venir sans les masquer par de grands mouvements de migrations internationales, impulsées pour des raisons économiques, politiques ou climatiques, de façon à aborder pleinement les implications qu'auront les explosions démographiques attendues, notamment sur les continents africain, asiatique et latino-américain, sur les capacités de ces régions à nourrir leur propre population.

Le module quantitatif Agribiom, tel qu'il a pu être développé à ce stade, impose cependant un certain nombre de contraintes d'accès aux données et de quantification. Ces contraintes ont conduit à ne pas explorer de manière détaillée et quantifiée certaines dimensions des scénarios, voire à laisser de côté certaines thématiques.

Tout d'abord, il n'existe pas d'estimations chiffrées précises et complètes, en termes de couverture géographique, des impacts du changement climatique sur l'agriculture mondiale (notamment sur les surfaces cultivables et les rendements), et de l'agriculture sur le climat. Par conséquent, les phénomènes climatiques, tels que la variabilité accrue des événements climatiques, la modification de la pluviométrie, la hausse des températures et le dégel de certaines terres, n'ont été pris en compte qu'à dires d'experts et de façon peu précise, lors des discussions autour de l'évolution du potentiel cultivable et des potentiels de rendements de chaque région à 2050. Les scénarios du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) montrent que l'inertie du changement climatique est forte et que même les scénarios les plus volontaristes et les plus optimistes supposent une évolution des phénomènes climatiques d'ici 2050, dont une augmentation de température de 1 à 2 °C en moyenne mondiale (IPCC, 2007a). En nous inspirant de ces scénarios, nous avons modulé nos hypothèses relatives aux surfaces cultivées et aux rendements possibles en 2050 dans les différentes régions. Les impacts futurs du changement climatique, notamment pour ce qui concerne l'augmentation de la fréquence des événements extrêmes, nous ont également conduits à nous interroger sur la robustesse aux événements extrêmes des systèmes agricoles envisagés en 2050. L'ampleur des modulations retenues demanderait à être confirmée par des travaux plus précis sur les potentiels cultivables futurs compte tenu du changement climatique. Par ailleurs, pour réaliser une évaluation plus robuste de la durabilité de chacun des scénarios, nous avons manqué de données sur les conséquences en termes d'émissions de gaz à effet de serre de différents types de changement d'occupation des sols (pâtures ou forêts transformées en cultures, forêts transformées en pâtures, etc.) ou encore d'une intensification de l'agriculture par le biais de sa mécanisation et de l'usage d'intrants d'origine pétrochimique.

En outre, le module quantitatif n'intègre pas d'indicateurs chiffrés de consommation des ressources naturelles tels que les quantités d'eau ou d'énergie consommées[52]. Une telle endogénéisation aurait demandé une étude approfondie sur la nature des ressources

52. Il s'agit d'un des axes d'amélioration du module Agribiom envisagés pour l'avenir.

utilisées (par exemple eau bleue ou eau verte[53]) et sur leur coût d'opportunité (pas d'autre allocation possible que celle envisagée dans le scénario, autre allocation possible…). En revanche, la notion de pression sur les ressources naturelles est prégnante dans l'analyse à divers égards, tels la déforestation résultant de l'extension des terres cultivées, le stress hydrique induit par les évolutions climatiques et démographiques conjointes, les dégradations des sols et des eaux causées par les pratiques agricoles, etc. La réflexion, au-delà de l'identification des enjeux majeurs ayant trait aux ressources naturelles, s'est tournée vers les stratégies d'adaptation et de limitation de ces phénomènes.

Enfin, le scénario Agrimonde 1 se fonde sur l'hypothèse du rôle moteur du développement agricole et rural dans le développement économique global et dans la lutte contre la pauvreté, à l'instar du rapport 2008 de la Banque mondiale (World Bank, 2008). Ainsi, il suppose que dans beaucoup de pays en développement, la solvabilité de la demande de produits alimentaires et l'absence de migrations massives reposent avant tout sur la croissance de la production agricole nationale. Toutefois, le module Agribiom n'est pas conçu pour vérifier si les augmentations de production supposées dans chaque région contribuent à un développement économique suffisant pour garantir la solvabilité de la demande alimentaire et pour éviter, par exemple, les phénomènes de migrations massives.

À partir de ces principes de scénario, nous avons construit les hypothèses quantitatives sur les emplois et les ressources sur le plan régional pour chacun des deux scénarios. Pour Agrimonde GO, nous avons repris les hypothèses quantitatives faites dans le cadre du MEA alors que, pour le scénario Agrimonde 1, des règles de construction propres à chacun des ensembles de variables à quantifier ont été conçues. Pour les populations, le souhait d'appréhender les effets des évolutions démographiques à venir sans les masquer par de grands mouvements de migrations internationales nous a conduits à retenir (pour les deux scénarios) les projections médianes de l'Organisation des Nations unies (ONU) à 2050 qui correspondent à une situation de migrations internationales qualifiées de « normales » par l'ONU, soit environ 100 millions de migrants sur 50 ans (UN, 2006). Pour construire les hypothèses sur les consommations alimentaires, c'est un choix normatif qui a prévalu ; il est fondé sur une appréhension de ce que pourrait être une alimentation durable. Les hypothèses relatives aux surfaces ont été construites sur la base des facteurs physiques de disponibilité et de qualité des sols confrontés à des critères de durabilité. Enfin, les hypothèses relatives aux rendements ont été formulées en considérant les rendements comme une variable d'ajustement du système. Nous avons donc proposé une fourchette de rendements sur la base des tendances passées et d'un objectif de progrès des techniques permettant de préserver les écosystèmes. L'idée était notamment de tester une hypothèse de rendements plus optimiste si toutefois l'hypothèse basse ne permettait pas de générer un niveau de ressources agricoles suffisant pour satisfaire les besoins au niveau mondial.

53. La distinction eau bleue / eau verte a été proposée par Falkenmark en 1995 (Falkenmark, 1995). L'eau « bleue » est celle qui s'écoule dans les rivières jusqu'à la mer, celle qui se trouve dans les lacs, qui est captée dans les nappes souterraines, qui est distribuée dans les canalisations, etc. L'eau « verte » est celle qui est contenue dans le sol et qui est disponible pour les plantes, 60 % du total des précipitations constituent l'eau verte.

5 - Quelles consommations alimentaires en 2050 ?

Jean-Marc Chaumet, Gérard Ghersi
et Jean-Louis Rastoin

Les scénarios quantitatifs Agrimonde sont constitués d'hypothèses sur les ressources régionales en biomasse alimentaire et sur leurs emplois, ainsi que des bilans ressources-emplois pour chaque région et, par agrégation, pour le monde. Afin de pouvoir quantifier les emplois des productions agricoles par région à l'horizon 2050, des hypothèses ont été élaborées, au niveau régional, d'abord sur les populations humaines puis sur les consommations alimentaires par habitant.

Quelles populations en 2050 ?

Les hypothèses de population du *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA) pour 2050 s'étalent entre environ 8 et 9,5 milliards d'habitants selon les scénarios (Tableau 5.1).

Global Orchestration est le scénario dans lequel la population est la plus faible (8 milliards en 2050 au niveau mondial), la transition démographique étant relativement rapide grâce à de forts investissements en capital humain et un rapide essor des technologies, notamment dans le secteur de la santé. La mortalité atteint en particulier des niveaux très bas dans les pays riches, en cohérence avec des taux de croissance économique élevés et un progrès technologique rapide.

À l'opposé, dans le scénario *Order from Strength*, dans lequel la population mondiale atteint neuf milliards et demi en 2050, la transition démographique est très lente, résultant de faibles investissements en capital humain et d'une faible croissance économique. De plus, la croissance inégale parmi les pays riches et l'émergence de maladies potentiellement graves entraînent des taux de mortalité élevés.

Dans *Adapting Mosaic*, la population mondiale est, en 2050, pratiquement identique à celle du scénario *Order from Strength* car les deux scénarios suivent la même trajectoire pendant de nombreuses années avant qu'un effort ne soit entrepris dans *Adapting Mosaic* vers l'éducation, ce qui permet par la suite une croissance économique plus forte et une accélération du progrès technologique. Mais les conséquences démographiques de ces investissements, en termes de taux de natalité et de taux de mortalité, n'apparaissent que tardivement.

Tableau 5.1. Populations (en millions d'individus) en 2000, en 2050 dans les scénarios Agrimonde et dans les scénarios du *Millennium Ecosystem Assessment.*

Régions	Population en 2000 (Millions d'individus)	Population en 2050 - Scénarios Agrimonde (Millions d'individus)	Population en 2050 - Scénarios du MEA (Millions d'individus)			
			Global Orchestration	*Order from Strength*	*Adapting Mosaic*	*TechnoGarden*
Afrique du Nord - Moyen-Orient	353	632	584	691	691	648
Afrique subsaharienne	659	1 662	1 128	1 591	1 514	1 349
Amérique latine	515	773	738	939	928	826
Asie	3 204	4 427	4 005	4 912	4 883	4 430
Ex-URSS	281	239	282	257	273	281
OCDE	972	1 066	1 136	914	976	1 044
Monde	5 984	8 800	7 872	9 303	9 265	8 578

Sources : Agribiom, Chapitre 2 (d'après FAOSTAT, UNSTATS, MEA, 2005b).

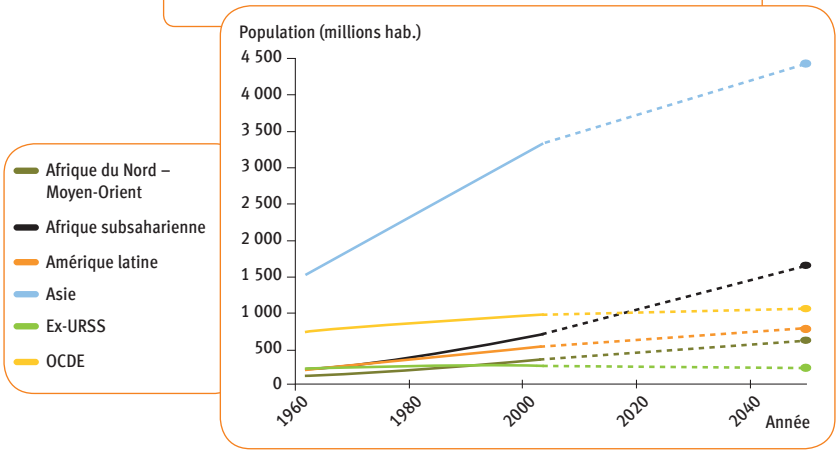
Dans le scénario *TechnoGarden,* au niveau mondial la population se situe à environ 9 milliards. Ce scénario prévoit des investissements et une croissance économique modérés, ce qui induit un rythme modéré dans l'évolution de la fécondité et de la mortalité dans le monde, pour atteindre des taux qualifiés de moyens comparativement aux autres scénarios.

Les hypothèses d'Agrimonde 1 et d'Agrimonde GO concernant la population mondiale en 2050 reposent, quant à elles, sur la projection médiane de l'Organisation des Nations unies (ONU) qui chiffre à un peu plus de 9 milliards le nombre d'habitants sur la planète à la moitié du siècle. Cette projection intègre un régime dit « normal » de migrations internationales, ce qui correspond à environ 100 millions de migrants sur 50 ans. Cette hypothèse de faibles migrations, qui va à l'encontre de certaines anticipations concernant l'afflux de réfugiés climatiques, permet aux scénarios proposés de pleinement rendre compte des conséquences de la forte croissance démographique anticipée en Afrique, Asie et Amérique latine, sans les masquer par de grands mouvements de migrations internationales.

Les populations par région dans les scénarios Agrimonde ont été calculées à partir des chiffres par pays disponibles dans la projection de l'ONU (Tableau 5.1). Rappelons que certains pays (Irak, Afghanistan…) ont été exclus des calculs par manque de données rétrospectives. Nous ne prenons donc pas en compte ces pays dans les populations en 2000 ainsi qu'en 2050.

Selon la projection médiane de l'ONU, la plus forte progression de population aura lieu en Afrique subsaharienne, avec une multiplication par 2,5 de sa population, suivie de l'Afrique du Nord - Moyen-Orient (multiplication par 1,8), de l'Amérique latine (multiplication par 1,5) et de l'Asie (multiplication par 1,4). L'OCDE devrait voir sa population rester stable, tandis que l'Ex-URSS devrait perdre près de 15 % de ses habitants (Figure 5.1).

Figure 5.1. Évolution de la population dans les grandes régions du monde.



Sources : Agribiom, Chapitre 2 (d'après FAOSTAT, UNSTATS).

Quels régimes alimentaires en 2050 ?

Les disponibilités alimentaires en calories

Au niveau mondial, la disponibilité alimentaire en équivalent calorique par habitant est passée de 2 500 kcal/hab./j en 1961 à 3 000 en 2003 (Figure A2.2). Cette évolution a entraîné des changements favorables aux sociétés humaines dans la deuxième moitié du XX^{e} siècle : éloignement du spectre de la famine, forte baisse des prix alimentaires, meilleure sécurité sanitaire des aliments, effets positifs sur l'ensemble de l'activité économique (Rastoin, 2007). Cependant, des événements comme les « émeutes de la faim » de 2008 rappellent, entre autres, qu'environ un milliard d'individus dans le monde souffre encore de sous-alimentation (1,2 milliard en 2009 selon la FAO). En outre, après avoir régressé dans les années 1980 et le début des années 1990, ce nombre a augmenté lors de la dernière décennie dans toutes les régions du monde, à l'exception de l'Amérique latine (FAO, 2008, 2009).

Dans les scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO comme dans les scénarios du MEA, les « disponibilités alimentaires » servent d'approximation de la consommation alimentaire (Encadré 5.1). Ces disponibilités sont les quantités moyennes de calories théoriquement à disposition de chaque consommateur. Dans chaque région considérée, elles n'intègrent pas les différences de consommation entre ménages (riches, pauvres…) et au sein de ces ménages (homme, femme, enfant…). Elles incluent les calories qui sont perdues entre l'achat des produits et leur ingestion (à la maison ou en restauration collective). Elles ne doivent donc pas être confondues avec les quantités effectivement ingérées qui, elles, sont beaucoup plus difficiles à estimer de façon régulière et dans tous les lieux (enquêtes de consommation coûteuses et aux protocoles changeants).

Encadré 5.1 – Les disponibilités comme approximation de la consommation alimentaire

Dans les scénarios Agrimonde, comme dans les scénarios du MEA, les « disponibilités alimentaires » servent d'approximation de la consommation alimentaire. Elles sont calculées par le ratio entre, d'une part, l'équivalent calorique des quantités de biens alimentaires disponibles (production + importations - exportations +/- variations de stocks) pour l'alimentation des habitants d'une région (i.e., hors alimentation animale, usages non alimentaires, semences et pertes après récolte), d'autre part, le nombre d'habitants de cette région. Ces disponibilités reflètent la quantité de calories à disposition des consommateurs, au niveau des ménages et de la restauration hors domicile. Elles incluent donc les calories qui seront perdues entre l'achat des produits et leur ingestion. Elles ne doivent pas être confondues avec la quantité de calories effectivement ingérées qui est, elle, difficile à estimer. En termes d'ingestion, les besoins énergétiques nets des hommes se situent entre 2 000 et 3 000 kcal/jour selon le sexe, la taille, le poids et l'intensité de l'activité physique.

Dans les scénarios du MEA à l'horizon 2050, la croissance économique explique largement les niveaux de disponibilité, sauf dans *TechnoGarden* où l'attitude proactive vis-à-vis de l'environnement limite la hausse des disponibilités en produits animaux (Encadré 5.2). Ainsi, le scénario Agrimonde GO, qui reprend les hypothèses du scénario *Global Orchestration* du MEA (Annexe 3 page 261), est un scénario que l'on peut qualifier de tendanciel en termes d'évolution du niveau de consommation de calories alimentaires. La croissance économique tire la consommation dans toutes les régions du monde pour atteindre une disponibilité moyenne mondiale de 3 590 kcal/hab./j, de près de 3 000 kcal/hab./j en Afrique subsaharienne à environ 4 100 kcal/hab./j en OCDE (Figure 5.2 et Tableau 5.2). D'importantes différences de consommations en produits végétaux, animaux et aquatiques demeurent, malgré le phénomène global d'enrichissement (Figure 5.4). La sous-alimentation est considérablement réduite mais les modes de consommation sont tels dans les pays à croissance économique élevée qu'ils s'accompagnent d'une forte augmentation des maladies liées à la suralimentation (maladies cardiovasculaires, surcharge pondérale ou obésité…).

Encadré 5.2. Les hypothèses de consommation alimentaire dans les scénarios du MEA

Global Orchestration

La disponibilité alimentaire moyenne mondiale en 2050 est de 3 600 kcal/hab./j. Ce scénario se situe donc dans la prolongation des tendances actuelles, avec une extension de l'épidémie d'obésité dans les zones de fort développement économique, une augmentation importante de la demande de viande, avec pour corollaire une part croissante des céréales destinées à l'alimentation animale. Les modèles traditionnels sont peu à peu abandonnés pour des habitudes alimentaires plus standardisées. Les disponibilités caloriques pour l'alimentation sont les plus importantes des quatre scénarios. Cette prolongation des tendances permet une avancée notable en termes de sécurité alimentaire : la diminution en valeur absolue du nombre d'enfants souffrant de malnutrition.

TechnoGarden

Ce scénario se démarque fortement des autres par une attitude proactive des consommateurs envers la gestion de l'environnement. Celle-ci se traduit par la demande de produits issus d'une agriculture « écologique » et par une hausse modérée de la consommation de viande. L'accroissement de la quantité de produits animaux consommés par les habitants des pays en développement est similaire à celui des scénarios centrés sur la régionalisation. Par contre, dans les pays riches, l'accroissement de la consommation de produits animaux est deux à trois fois plus faible que dans les autres scénarios. Cette évolution des régimes alimentaires est liée à la prise en compte de leurs effets sur l'environnement et sur la santé. Au final, la consommation mondiale journalière par habitant approche les 3 300 kcal en 2050. À noter que le nombre d'enfants souffrant de malnutrition est relativement faible dans ce scénario, mais tout de même supérieur à celui enregistré dans *Global Orchestration*.

Order from Strength

Le modèle alimentaire n'évolue pas dans les pays développés mais ne se répand pas dans les pays en développement, la faible croissance économique limitant l'augmentation des revenus nécessaires à son extension et les barrières aux échanges contrariant la généralisation du régime alimentaire occidental. La croissance économique limitée touche également les pays riches qui voient leur consommation augmenter faiblement. Il en résulte une disponibilité moyenne mondiale proche de 3 000 kcal en 2050 correspondant à un état stationnaire dans chacun des pays du monde. La relative stagnation économique conjuguée au manque de coopération internationale a pour conséquence une augmentation du nombre d'enfants souffrant de malnutrition.

Adapting Mosaic

La problématique au cours des premières années de ce scénario est proche de celle d'*Order from Strength*, la croissance économique étant également faible. Les produits à forte valeur ajoutée ne sont pas abordables pour une bonne partie des consommateurs qui se focalisent sur les denrées produites localement à partir de techniques de production adaptées à l'environnement local. À partir de 2020, la situation économique s'améliore et la demande de produits alimentaires sains et de bonne qualité se fait plus pressante, au point que plusieurs pays inscrivent dans leur constitution le « droit à une alimentation saine ». Cette tendance prend d'abord corps dans les pays développés avant de s'étendre aux pays en développement. La disponibilité moyenne mondiale en 2050 est légèrement supérieure à 3 000 kcal/hab./j.

Source : d'après MEA, 2005b

Figure 5.2. Disponibilités alimentaires moyennes régionales de 1961 à 2003 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde.

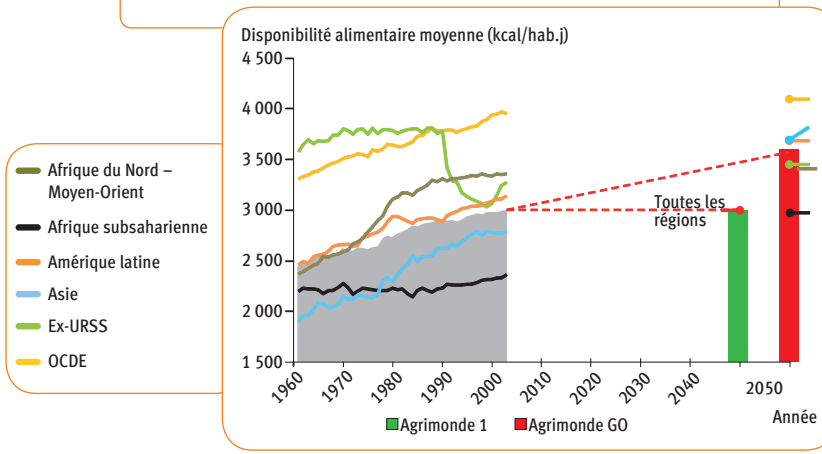


Tableau 5.2. Disponibilités alimentaires totales et répartitions selon les sources en 2000 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde.

Régions du monde	Types de disponibilités alimentaires	Disponibilités en 2000 (kcal/hab./j)	Disponibilités en 2050 pour les scénarios Agrimonde (kcal/hab./j) Agrimonde 1	Agrimonde GO
Afrique du Nord - Moyen-Orient	Disponibilités totales	3 339	3 000	3 457
	Origine végétale	2 990	2 500	2 987
	Origine animale	334	460	442
	Origine aquatique	15	40	28
Afrique subsaharienne	Disponibilités totales	2 323	3 000	2 972
	origine végétale	2 176	2 500	2 667
	origine animale	133	479	283
	origine aquatique	14	21	22
Amérique latine	Disponibilités totales	3 090	3 000	3 698
	origine végétale	2 470	2 500	2 758
	origine animale	601	458	892
	origine aquatique	19	42	48
Ex-URSS	Disponibilités totales	3 062	3 000	3 457
	origine végétale	2 439	2 500	2 091
	origine animale	599	463	1 296
	origine aquatique	24	37	70
Asie	Disponibilités totales	2 812	3 000	3 703
	origine végétale	2 426	2 500	2 766
	origine animale	326	412	871
	origine aquatique	30	88	66
OCDE	Disponibilités totales	3 941	3 000	4 099
	origine végétale	2 728	2 500	2 385
	origine animale	1 167	451	1 628
	origine aquatique	46	49	86
Monde	Disponibilités totales	2 991	3 000	3 588
	origine végétale	2 485	2 500	2 698
	origine animale	477	438	834
	origine aquatique	29	62	56

Le scénario Agrimonde 1 se distingue très nettement de cette évolution tendancielle. Il partage certaines caractéristiques avec le scénario *TechnoGarden* puisque la relation qui lie le revenu et la consommation alimentaire ne reste pas la même que par le passé, en raison de préoccupations liées à la santé et à l'environnement. Dans Agrimonde 1, l'hypothèse de disponibilité alimentaire retenue pour 2050 est de 3 000 kcal/hab./j dans toutes les régions du monde, ce qui correspond à la moyenne mondiale observée en l'an 2000, dont 500 kcal d'origines animale et aquatique avec une composition (en produits de ruminants, de monogastriques, d'eau douce et d'eau marine) variant suivant certaines spécificités régionales. Cette convergence de toutes les régions vers des disponibilités moyennes de 3 000 kcal/hab./j à l'horizon 2050 représente une rupture majeure par rapport aux tendances observées entre 1961 et le début du XXI^{e} siècle. Elle correspond à de faibles évolutions des disponibilités alimentaires par personne dans la plupart des régions d'ici à 2050, sauf en Afrique subsaharienne, pour laquelle la disponibilité alimentaire par habitant augmenterait, selon notre hypothèse, de 25 % en 50 ans, et dans la région OCDE pour laquelle elle diminuerait de près d'un quart (Figure 5.2).

La répartition des disponibilités alimentaires totales selon les sources

Aujourd'hui, les régimes alimentaires restent assez différenciés selon les régions du monde et les pays, que ce soit en termes d'apport calorique total, comme on l'a vu plus haut, ou de répartition entre les différentes sources d'alimentation (Tableau 5.3). La principale différence entre les modèles de consommation des pays du Sud et ceux du Nord tient aux produits de l'élevage : viande, œufs, lait. Les pays occidentaux disposent en moyenne de trois fois plus de viande par tête et par an que les pays du Sud à économie de marché (un Nord-Américain dispose de huit fois plus de viande qu'un Africain, deux fois plus d'œufs et six fois plus de lait). Le modèle occidental est aussi beaucoup plus riche en produits de l'élevage que celui de l'Ex-URSS et de l'Europe orientale.

Dans le module quantitatif Agribiom, les disponibilités totales sont composées de disponibilités en calories végétales, animales terrestres (monogastriques et ruminants) et aquatiques (eau douce et eau marine). Si la consommation moyenne de calories végétales augmente encore entre 2000 et 2050 dans le scénario Agrimonde GO (+ 9 % en moyenne), c'est essentiellement la consommation de calories d'origines animale et aquatique (+ 76 % en moyenne) qui explique l'accroissement de la consommation alimentaire (Figure 5.3).

Dans le scénario Agrimonde 1, nous avons retenu l'hypothèse d'une convergence des disponibilités en calories végétales vers 2 500 kcal/hab./j à l'horizon 2050 dans toutes les régions du monde. Ce chiffre correspond à peu près à la moyenne mondiale en l'an 2000 des disponibilités en kilocalories végétales par habitant ; c'est également le chiffre vers lequel tendent les disponibilités des différentes régions du monde, excepté la région Afrique du Nord - Moyen-Orient (Figure 5.3).

La répartition des 500 kcal/hab./j de calories d'origines animale et aquatique (entre ruminants, monogastriques, eau douce et eau marine) dans le scénario Agrimonde 1 est variable d'une région à l'autre puisque c'est au travers de cette répartition que nous avons choisi de tenir compte des spécificités, notamment culturelles, des régimes alimentaires. Pour effectuer cette répartition, a d'abord été fixé le nombre de calories issues des ruminants (lait et viande). Pour ce faire, la proportion de calories issues de

Figure 5.3. Répartition régionale des disponibilités alimentaires en produits d'origines végétale, animale et aquatique en 2000 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde.

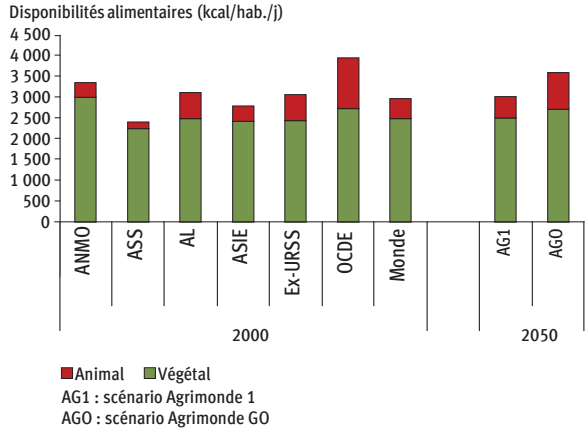


Tableau 5.3. Répartition de la population mondiale et des consommations de calories alimentaires végétales (2003).

Régions du monde	Population humaine	Consommations de calories végétales
Monde	5,973 milliards hab.	29 341 Gkcal/jour
Afrique du Nord – Moyen-Orient	6 %	7 %
Afrique subsaharienne	11 %	7 %
Amérique latine	9 %	11 %
Asie	54 %	40 %
Ex-URSS	4 %	5 %
OCDE	16 %	30 %

Source : Agribiom, Chapitre 2 (d'après FAOSTAT).

ruminants observée en 2003 (dernière année d'observation disponible dans Agribiom) dans chaque région a été appliquée à 3 000 kcal. Toutefois, la quantité de kilocalories obtenue a été plafonnée à 250 kcal/hab./j afin qu'elle ne dépasse pas la moitié du total des calories animales et aquatiques disponibles pour l'alimentation en 2050, celui-ci étant fixé à 500 kcal/hab./j. Ainsi :

- pour les régions où le volume s'avère plafonné à 250 kcal/hab./j en 2050, les disponibilités en calories issues de ruminants sont réduites d'environ 60 % par rapport à 2000 en OCDE, de 40 % en Ex-URSS, et de près d'un tiers en Amérique latine ;
- dans les autres régions, entre 2000 et 2050, les disponibilités en calories issues de ruminants augmentent d'un quart en Afrique subsaharienne pour atteindre 129 kcal/hab./j, de près de 20 % en Asie pour arriver à 159 kcal/hab./j, alors qu'elles baissent de près de 10 % dans la région Afrique du Nord - Moyen-Orient pour se situer à 222 kcal/hab./j.

Ensuite, l'hypothèse a été faite d'une augmentation (par rapport à 2003) de la part des calories d'origine aquatique – ce qui correspond à la tendance historique mondiale – tout en introduisant des différences de progression selon les régions, qui tiennent aux possibilités de production régionales telles qu'évaluées à dires d'experts. Très généralement, il a été considéré que les océans représentent un gisement considérable de production, mais que la pêche se verra confrontée à des limites structurelles liées à plusieurs facteurs (surpêche, artificialisation du littoral, pollution, érosion accélérée de la biodiversité), tandis que les tensions sur les usages de l'eau douce seront exacerbées.

L'hypothèse retenue est que l'aquaculture marine peut progresser à un rythme supérieur à celui qu'elle a connu ces 40 dernières années, mais à un rythme différencié selon les régions :

- élevé en Asie, en OCDE et en Amérique latine, avec un doublement du rythme d'accroissement des disponibilités observé sur la période 1961-2003 ;
- modéré dans les autres régions (Ex-URSS, Afrique subsaharienne, Afrique du Nord - Moyen-Orient[54]) avec une augmentation du rythme d'accroissement des disponibilités observé entre 1961 et 2000 de seulement 50 %.

Pour les calories en provenance des poissons d'eau douce, étant donné les tensions sur cette dernière ressource, une relative stabilité des disponibilités par personne a été retenue, en calquant leur évolution sur les augmentations de population de chaque région.

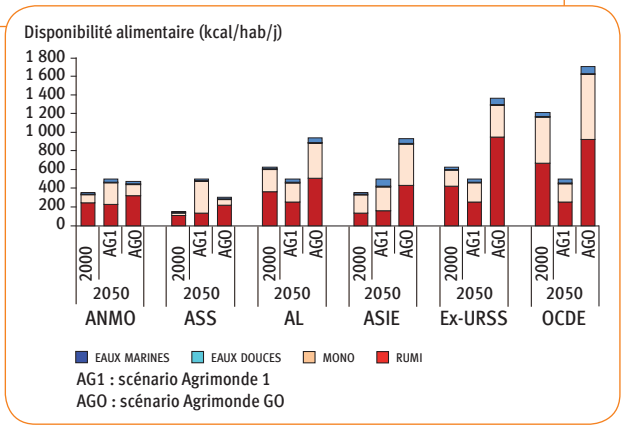
Enfin, les disponibilités en calories de monogastriques sont déduites en calculant la différence entre les disponibilités régionales totales en produits animaux et aquatiques (fixées à 500 kcal/hab./j) et la somme des disponibilités régionales en calories issues de ruminants et d'origine aquatique.

Ainsi, l'accroissement des disponibilités en calories animales et aquatiques que connaissent certaines régions (Afrique du Nord - Moyen-Orient, Afrique subsaharienne, Asie) entre 2000 et 2050 dans le scénario Agrimonde 1 tient essentiellement à l'augmentation des

54. Les calculs pour l'Ex-URSS ont été effectués à partir de la période 1993-2003, car les disponibilités sont en baisse sur la période 1963-2003 : cette baisse est surtout concentrée sur 1989-1993, une rupture à la hausse s'amorce ensuite.

disponibilités en produits de monogastriques. La part des ruminants reste cependant élevée dans les zones OCDE, Ex-URSS et Amérique latine (Figure 5.4).

Figure 5.4. Répartition des calories d'origines animale et aquatique en 2000 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde.



Pour le scénario Agrimonde 1, un jeu d'hypothèses explorant la possibilité de ruptures majeures dans les régimes alimentaires

Dans le scénario Agrimonde 1, les hypothèses relatives aux régimes alimentaires sont en rupture très marquée par rapport aux tendances passées. Il s'agit d'un jeu d'hypothèses très fortes puisqu'il implique une prise en compte par de multiples acteurs (consommateurs, producteurs, transformateurs, distributeurs, politiques publiques…) des conséquences globales et locales des modes de production et de consommation alimentaire sur l'environnement et la santé.

Le choix de ce jeu d'hypothèses repose sur quatre arguments principaux :

- l'écart très marqué qui existe aujourd'hui entre disponibilités observées et disponibilités nécessaires à la sécurité alimentaire dans chaque région ;
- l'importance de l'équité dans un scénario de développement durable ;
- la relation entre santé et alimentation ;
- la relation entre régimes alimentaires et pressions sur les ressources naturelles.

Des écarts marqués entre disponibilités observées et disponibilités nécessaires à la sécurité alimentaire

Selon la FAO, à l'échelle d'une population, une disponibilité de 3 000 kcal/hab./j en moyenne permettrait, en fonction de l'inégalité d'accès à la nourriture et de l'hétéro-

généité des rations alimentaires dans la population, et en tenant compte de pertes à la consommation limitées, (pertes après mise à disposition du consommateur, Annexe 3 page 261) de maintenir la proportion de personnes sous-alimentées à un niveau relativement bas, de l'ordre de 6 % de la population mondiale si les inégalités sont importantes (FAO, 2003a et 2003b).

Ainsi, l'hypothèse de 3 000 kcal/hab./j de disponibilité alimentaire moyenne dans toutes les régions en 2050 a l'intérêt de mettre en évidence les écarts qui existent au début du XXI^e siècle, entre la disponibilité nécessaire à la sécurité alimentaire et les disponibilités constatées, notamment pour les pays ayant généralisé le mode de consommation « occidental ». Les disponibilités moyennes par habitant et par jour en 2000 approchent en effet les 4 000 kcal dans la zone OCDE et atteignent par exemple presque 4 500 kcal aux États-Unis.

Ces écarts peuvent s'expliquer par la dispersion des régimes au sein même des populations considérées, mais aussi par des surconsommations dans les pays riches, ou encore par une proportion importante de pertes entre la mise à disposition et l'ingestion effective de nourriture par les individus. Ces pertes à la consommation seraient particulièrement importantes dans les pays développés. Les chiffres varient selon les enquêtes mais sont souvent élevés. Une étude réalisée aux États-Unis chiffre, par exemple, à 14 % de l'alimentation achetée, les pertes chez le consommateur en ce qui concerne la viande, les grains et les fruits et légumes (Jones, 2004) tandis qu'une étude en Grande-Bretagne évalue à un tiers les pertes alimentaires chez les consommateurs et 61 % la part de ces pertes qui aurait pu être évitée (WRAP, 2008) (Annexe 3 page 261).

La question de l'équité dans un scénario de développement durable

Dans le scénario Agrimonde 1, la question d'une plus grande équité de consommation alimentaire, notamment entre pays du Nord et du Sud, a également été importante dans la construction des hypothèses sur les régimes alimentaires. Aujourd'hui, ces consommations sont très inégales, certaines régions utilisant notamment beaucoup plus de calories végétales pour alimenter leur bétail que d'autres (Figure A2.7 et Tableau 5.3).

La question de l'équité était également importante pour Philippe Collomb dans son ouvrage *Une voie étroite pour la sécurité alimentaire d'ici à 2050* (Collomb, 1999), mais elle a été traduite par des hypothèses moins exigeantes que dans le scénario Agrimonde 1. L'auteur a en effet supposé qu'en 2050, les populations des pays en développement bénéficieront d'un régime alimentaire proche de celui du Mexique à la fin des années 1990 (disponibilités alimentaires de 3 040 kcal/hab./j). Plus précisément, les pays actuellement situés en dessous de ce régime verraient leur disponibilité augmenter, alors que les pays situés au-dessus, notamment les pays développés, garderaient leur régime inchangé.

Une prise en compte de la relation entre alimentation et santé

Une disponibilité moyenne de 3 000 kcal/hab./j peut avoir des conséquences positives en termes de santé publique. Tout d'abord, comme précisé ci-dessus, et selon la FAO, ce

niveau de disponibilité maintient la probabilité de sous-alimentation à un niveau relativement bas. Ensuite, une surconsommation favorise l'apparition de maladies non transmissibles liées à l'alimentation (MNTA), comme l'obésité. Leur progression incite à une mutation de la consommation alimentaire. En effet des études montrent que les incidences du régime alimentaire actuel sur la santé affectent l'espérance de vie dans des pays comme les États-Unis (Olshansky *et al.*, 2005). L'obésité est bien évidemment la première maladie impliquée, mais d'autres maladies (diabète de type 2, maladies cardiovasculaires ou cérébro-vasculaires, certains cancers) font partie des MNTA. Ces maladies ont souvent comme facteurs de risques l'obésité mais sont plus généralement liées à une mauvaise alimentation. Même si le scénario Agrimonde 1 ne formule pas d'hypothèses quantitatives sur les nutriments présents dans les régimes alimentaires (les simulations Agribiom s'effectuent sur les calories et non sur les macronutriments et les micronutriments), il suppose cependant que les régimes alimentaires seront plus équilibrés qu'aujourd'hui du point de vue nutritionnel.

Limiter la pression sur les ressources naturelles

Un excès d'apport calorique entraîne des problèmes de santé, mais a également des conséquences en termes de pression sur l'environnement. L'objectif de nourrir convenablement neuf milliards d'habitants en 2050 suppose *a priori*, et quels que soient le volume et les méthodes de production envisagés, une pression plus importante qu'aujourd'hui sur les ressources naturelles (besoins en terre, en eau et en énergie…). Dans le scénario Agrimonde 1, le jeu d'hypothèses sur les régimes alimentaires vise aussi à explorer et débattre des relations entre régimes alimentaires et pressions sur les ressources naturelles.

Dans Agrimonde 1, les disponibilités en produits alimentaires d'eau douce n'augmentent par exemple que légèrement pour tenir compte des tensions et des pressions existant déjà sur ces milieux dans de nombreuses régions du monde. L'hypothèse de moindres disponibilités de produits animaux, notamment de produits issus de ruminants en OCDE, et d'une augmentation limitée dans les autres régions, tient aussi à l'impact environnemental et énergétique de la production animale. Le scénario *TechnoGarden* du MEA envisage d'ailleurs aussi, et pour des raisons environnementales, une modification des consommations de viandes dans plusieurs régions du monde.

Nutritionnellement parlant, les calories animales ne représentent aujourd'hui en moyenne dans le monde que 16 % des calories finales disponibles, mais économiquement, et du point de vue de l'environnement, leur importance s'avère beaucoup plus grande. Autrement dit, les calories végétales (CV) servent à produire des calories animales (CA) ou bien directement des calories finales (CF) consommées par l'homme. Lorsqu'on mesure le niveau calorique de la ration alimentaire d'un individu ou d'une population, on peut tenir compte de l'ensemble des calories végétales nécessaires à la production des calories finales. On parle alors de calories initiales (CI), et la ration alimentaire (exprimée en calories initiales) peut être calculée selon la formule CI = CV + (CA x CT), avec CT le coef-

ficient de transformation précisant le nombre de calories végétales nécessaires pour produire une calorie animale. La littérature indique généralement des coefficients variant entre 4 et 14 suivant les animaux transformateurs considérés[55].

Dans Agrimonde, via Agribiom, cette transformation des calories végétales en calories animales a été l'objet de travaux spécifiques pour modéliser plus finement ce processus que dans l'expression ci-dessus. Ces modèles de productions animales visent à estimer, *in fine*, les besoins en produits végétaux pour la production des aliments, les besoins en terres (cultivées et pâturées), en eau, en intrants et autres facteurs de production.

D'une manière générale, l'étude des consommations de calories alimentaires végétales montre, au niveau mondial, que près d'un quart est utilisé pour alimenter les animaux (Figure A2.7), avec un coefficient de conversion de ces calories végétales en calories animales supérieur à trois en moyenne, ce coefficient est très variable dans le temps et dans l'espace (Figure 2.4) en fonction des autres ressources disponibles pour alimenter les animaux (fourrages cultivés, pâtures, résidus de récolte, résidus alimentaires…).

Si la production de calories animales demande un volume conséquent de calories végétales, il est cependant important d'être prudent concernant l'impact environnemental des productions animales. En effet, on peut considérer qu'il est avantageux de produire des animaux qui optimisent l'usage des ressources végétales (ils broutent de la pâture, et donc des fibres que les humains ne peuvent digérer). Toutefois, les systèmes de production ont évolué au cours de ces 40 dernières années et la réponse à l'augmentation de la demande de viande bovine a été l'intensification des systèmes, qui s'est traduite, en général, par la diminution des pâtures et l'augmentation de concentrés, notamment des grains. Ainsi, alors que la production des ruminants dans le monde a augmenté entre 1970 et 1995 de 40 %, les surfaces en pâtures n'ont progressé que de 4 % (Bouwman *et al.*, 2005). Or, d'après ces auteurs, les ruminants ont des efficiences de conversion de l'amidon et de plantes protéagineuses en viande, plus faibles que les monogastriques. Une étude montre notamment que, dans certains systèmes de bovins viande, la surface cultivée nécessaire est trois fois plus importante que celle utilisée pour une même production de monogastriques (Wirsenius, 2003). Cette conclusion n'est cependant pas généralisable à tous les systèmes de production, notamment à ceux des pays en développement.

Des avantages de la production de ruminants résident encore dans la valorisation de terres souvent incultivables, par des animaux (zones d'altitude, de pentes, semi-arides…), dans le stockage de carbone et la conservation de la biodiversité par ces surfaces. Mais la production de ruminants est également génératrice de gaz à effet de serre comme le méthane, le dioxyde de carbone et le protoxyde d'azote (Steinfeld *et al.*, 2006), de manière

55. Pour le porc, il faut 4 kg d'aliments sous forme de grains pour produire 1 kg de viande consommée. Le taux de conversion alimentaire est inférieur pour le poulet et beaucoup plus élevé pour le bœuf. Ce qui signifie que les animaux consomment environ 400 kg de grains de toute sorte pour ensuite les transformer en 80 kg de viande correspondant à notre consommation annuelle (Malassis et Padilla, 1986).

directe (respiration, rumination) ou indirecte (alimentation animale, transformation, transport), cette dernière composante devenant de plus en plus importante avec l'intensification de la production. Enfin, les ruminants ont également des utilités diverses car ils représentent un capital pour leur propriétaire, ils fournissent des amendements organiques et sont souvent utilisés comme bêtes de trait, sans compter l'apport nutritionnel, lacté ou carné, qu'ils permettent ou encore la trésorerie régulière qu'ils offrent à des populations souvent parmi les plus pauvres du monde en regard des critères économiques.

La production alimentaire utilise également des quantités d'eau très variables en fonction de la denrée produite : il faudrait 100 litres d'eau pour 1 kg de pommes de terre, 4 600 litres pour 1 kg de viande de porc, 4 100 litres pour 1 kg de viande de poulet et 13 000 litres d'eau pour 1 kg de viande de bœuf (Zimmer et Renault, 2003). Ces chiffres sont bien sûr des ordres de grandeur (résultats obtenus en Californie) et varient en fonction des sols, des climats, et des systèmes de production, notamment lorsque les porcs sont nourris à l'aide de résidus. Ils donnent cependant une approximation de l'écart qui existe entre les consommations d'eau nécessaires à la production des différentes denrées alimentaires.

Sur le plan énergétique, la conversion de la production de ruminants nourris à partir des ressources pastorales locales en une production de monogastriques demandant la production et le transport d'aliments sur de longues distances est à l'origine de dépenses d'énergie supplémentaires considérables (Steinfeld *et al.*, 2006). Aux États-Unis, il faudrait par exemple 2 700 kcal d'énergie fossile pour produire 100 kcal de porc et seulement 1 600 kcal pour produire 100 kcal de bœuf (Pimentel et Pimentel, 1996).

D'une manière plus générale, la production, la fabrication et la commercialisation d'aliments sont fortement consommatrices d'énergie. L'ensemble de la chaîne alimentaire utiliserait aux États-Unis 17 % de la consommation totale d'énergie fossile (Horrigan *et al.*, 2002). En outre, le système utiliserait 100 kcal pour en produire 7,6 d'utiles (Eshel et Martin, 2006). La surconsommation alimentaire entraîne donc une utilisation supplémentaire d'énergie fossile, dommageable pour l'environnement.

6 - Quelle occupation des sols en 2050 ?

Tévécia Ronzon

Afin de quantifier les ressources alimentaires dans les scénarios Agrimonde pour chaque grande région du monde, des hypothèses quantitatives sont formulées à la fois sur l'occupation des sols pour définir les surfaces dédiées à la production alimentaire, sur les rendements des cultures alimentaires et enfin sur la conversion des calories végétales en calories animales. Ce chapitre est consacré aux hypothèses quantitatives relatives à l'occupation des sols. Nous nous attachons d'abord à exposer les principes de quantification retenus pour ensuite présenter les hypothèses formulées pour chaque grande région et, par agrégation, au niveau mondial.

Les données de référence sont celles de la rétrospective de l'économie alimentaire mondiale de 1961 à 2003 (chapitre 3).

Les principes retenus pour construire les hypothèses d'occupation des sols

Deux approches prédominent dans les travaux prospectifs relatifs à la quantification des surfaces cultivées.

Selon une première approche, les évolutions de surfaces agricoles résultent de modèles d'équilibre de l'offre et de la demande alimentaire. En d'autres termes, le chiffrage des surfaces agricoles dépend à la fois du niveau de la demande alimentaire et de celui des autres paramètres qui influencent l'offre tels que le niveau de rendement, les surfaces et l'efficience de l'irrigation[56], l'intensité culturale mais aussi le niveau de dégradation de la fertilité des sols, la conversion des terres agricoles en terres urbaines, etc. Cette approche est notamment utilisée, sur la base du modèle IMPACT, dans la construction des scénarios du *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA) (MEA, 2005b), dans les différentes études de l'*International Food Policy Research Institute* (IFPRI) (von Braun *et al.*, 2005, Rosegrant *et al.*, 2002, 2001) et diverses autres études sur des points plus

56. « L'efficience de l'irrigation sur un périmètre est le rapport entre le volume d'eau prélevé ou pompé en tête de réseau, et la quantité effectivement utilisée (évapotranspirée) par les cultures, à laquelle on ajoute les besoins liés au maintien d'une lame d'eau dans le cas du riz » (CIRAD-GRET-MAE, 2002).

spécifiques comme l'évolution des surfaces plantées en agrocarburants (Hoogwijk *et al.*, 2005). D'autres modèles peuvent être utilisés, comme dans la construction des scénarios PRELUDE pour l'Europe par l'Agence européenne de l'environnement (EEA, 2007).

La seconde approche consiste à formuler des hypothèses d'évolution des surfaces arables en fonction d'une estimation du potentiel cultivable. C'est notamment le cas dans les projections agricoles de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) (FAO, 2000, 2003a) et dans le scénario de *Révolution doublement verte* (R2V) proposé par Michel Griffon (Griffon, 2006).

Dans les scénarios du MEA, l'extension des surfaces cultivées est une des composantes de l'équation qui vise à équilibrer la production alimentaire avec la demande. Les hypothèses de surfaces cultivées futures varient donc selon que le niveau de population est bas et le niveau d'intensification agricole haut *(Global Orchestration)* ou que la demande en produits carnés est réduite *(Adapting Mosaic* et *TechnoGarden)* ou que la pression démographique est élevée et les rendements bas *(Order from Strength)*. Autrement dit, plus les rendements sont élevés et le niveau de population bas, moins les surfaces cultivées sont grandes. Ainsi, tous les scénarios du MEA voient leurs surfaces augmenter mais dans des proportions différentes et pour des raisons différentes (Encadré 6.1).

Encadré 6.1. – Les hypothèses de surfaces cultivées dans les scénarios du *Millennium Ecosystem Assessment*

Global Orchestration

En 2050, l'essentiel des nouvelles surfaces cultivées est consacré à l'énergie (biocombustibles et agro-carburants). La faible part de terres nouvelles destinées à produire des denrées alimentaires (5 %) s'explique par la forte augmentation des rendements notamment grâce au développement technologique rapide et aux investissements dans la recherche agricole. L'Amérique latine et l'Afrique subsaharienne sont les régions disposant en 2050 des plus grandes surfaces nouvellement cultivées. Les surfaces irriguées ont par contre augmenté au niveau mondial de 0,18 % par an entre 2000 et 2050 et sont ainsi passées de 239 à 262 millions d'hectares. Cet accroissement a demandé de très forts investissements dans les systèmes d'irrigation. L'Amérique latine est la région où s'est concentrée la plus forte progression des surfaces irriguées (+ 0,5 % par an) suivi de l'Afrique subsaharienne (+ 0,3 % par an). L'augmentation modérée des surfaces a laissé la place au développement des agrocarburants dont la production a été stimulée par la hausse des prix énergétiques, consécutifs à l'importante croissance économique à l'œuvre. La région OCDE et l'Amérique latine accueillent la majorité des nouvelles terres destinées aux agro-carburants.

TechnoGarden

Ce scénario se distingue des autres car, si les surfaces agricoles totales ont augmenté entre 2000 et 2050, les surfaces cultivées en céréales se sont réduites. Les raisons principales ont été : une progression des rendements qui a permis

d'éviter une expansion des surfaces vers les terres marginales ; une amélioration de l'utilisation des sols grâce à de nouvelles technologies appliquées aux surfaces existantes ; une augmentation des programmes de conservation pour la biodiversité. En 2050, par rapport au début du siècle, les surfaces de céréales ont diminué de 10 % en OCDE, de 7 % en Ex-URSS et de 6 % en Asie. Mais elles ont augmenté de 37 % en Afrique subsaharienne, de 9 % en Amérique latine et de 7 % en Afrique du Nord - Moyen-Orient. Les surfaces irriguées sont de 253 millions d'hectares en 2050, soit le chiffre le plus important après le scénario *Global Orchestration*. La progression de ces surfaces est forte en Amérique latine, en Afrique subsaharienne, en Afrique du Nord - Moyen-Orient.

Order from Strength

Entre 2000 et 2050, les surfaces destinées à la production alimentaire ont fortement augmenté, du fait de l'effet conjugué de la forte croissance démographique et de la faible augmentation de rendements dans un contexte de maintien de barrières commerciales comme les droits de douanes et les quotas. Les surfaces irriguées sont restées stables : au niveau mondial elles sont passées de 239 millions à 240 millions d'hectares. Cette stabilité globale a recouvert des évolutions différentes selon les régions : les surfaces irriguées ont diminué en Asie et en Ex-URSS et elles ont augmenté en Amérique latine et en Afrique subsaharienne. Dans de nombreux pays, les difficultés économiques ont conduit à réduire considérablement les dépenses dans les systèmes d'irrigation. Une intense compétition s'est engagée entre production énergétique et production alimentaire, renchérissant le coût des agrocarburants. Dans le même temps, la lente croissance économique a modéré la demande en énergie. Ces deux facteurs expliquent la faible croissance des terres réservées à la production de biocombustibles et d'agrocarburants (la plus faible des 4 scénarios).

Adapting Mosaic

Même si la croissance de la demande alimentaire n'a pas été aussi forte que dans d'autres scénarios entre 2000 et 2050, la faible progression des rendements a conduit à une augmentation significative de la surface agricole. L'Afrique subsaharienne, l'Amérique latine et l'Afrique du Nord - Moyen-Orient accueillent en 2050 la majorité des nouvelles terres cultivées en céréales. Les surfaces irriguées n'ont progressé que très lentement jusqu'en 2050 (0,06 % par an) pour atteindre 246 millions d'hectares. Elles ont cependant augmenté fortement en Afrique subsaharienne et en Amérique latine. *Adapting Mosaic* est un scénario intermédiaire : la croissance économique et la productivité agricole ont été supérieures à celles constatées dans *Order from Strength* mais inférieures aux autres scénarios.

Par conséquent, la demande en énergie s'est révélée supérieure à celle du scénario *Order from Strength* mais la compétition pour les terres a été moins intense. En 2050, les surfaces consacrées à l'énergie et aux biocombustibles en particulier sont donc supérieures à celles d'*Order from Strength* mais inférieures à celles de *TechnoGarden*.

Source : d'après MEA, 2005b

Tableau 6.1. Occupation des sols et taux de variation annuels : périodes 1961-2000 et 2000-2050 dans les scénarios Agrimonde 1, Agrimonde GO et *Global Orchestration*.

Région	Type d'usage	Surfaces (millions ha)		Taux de variation 1961-2000 (%)	Taux de variation 2000-2050 selon les scénarios (%)		
		Agribiom 1961	Agribiom 2000		Agrimonde 1	Agrimonde GO	*Global Orchestration*
Afrique du Nord - Moyen-Orient	Culture	73	83	+ 14	+ 8	+ 12	+ 2
	dont culture irriguée	11	22	+ 98	0	NR[2]	+ 7
	Pâture	235	327	+ 39	- 2	- 2	+ 11
	Forêt	49	33	- 33	0	- 35	- 50
Afrique subsaharienne	Culture	144	192	+ 33	+ 76	+ 58	+ 61
	dont irriguée	3	7	+ 100	+ 105	NR	+ 17
	Pâture	767	782	+ 2	- 12	+ 49	+ 31
	Forêt	707	637	- 10	- 9	- 31	- 45
Amérique latine	Culture	102	162	+ 58	+ 91	+ 64	+ 54
	dont culture irriguée	8	19	+ 125	+ 11	NR	+ 33
	Pâture	462	555	+ 20	- 20	- 1	- 10
	Forêt	1 030	937	- 9	- 4	- 1	- 1
Asie	Culture	369	455	+ 23	+ 23	+ 11	+ 9
	dont culture irriguée	76	154	+ 103	+ 6	NR	+ 8
	Pâture	416	565	+ 36	- 9	+ 30	+ 13
	Forêt	526	497	- 5	- 10	- 11	- 16
Ex-URSS	Culture	240	203	- 15	+ 53	+ 10	+ 1
	dont culture irriguée	9	21	+ 123	0	NR	+ 9
	Pâture	302	359	+ 19	- 16	- 41	- 35
	Forêt	913	843	- 8	0	+ 12	+ 9
OCDE	Culture	426	418	- 2	+ 18	+ 11	+ 10
	dont culture irriguée	27	47	+ 72	- 1	NR	+ 10
	Pâture	817	752	- 8	- 23	- 19	- 19
	Forêt	1 071	978	- 9	+ 10	+ 13	+ 10
Monde	Culture	1 354	1 513	+ 12	+ 39	+ 23	+ 19
	dont culture irriguée	135	269	+ 100	+ 6	NR	+ 10
	Pâture	2 999	3 340	+ 11	- 15	+ 7	+ 2
	Forêt	4 296	3 925	- 9	- 1	- 1	- 1

Les surfaces de références pour l'année 2000 étant différentes dans les données du MEA et d'Agribiom, un facteur correctif a été appliqué aux surfaces brutes de 2050 du MEA (pour le scénario *Global Orchestration*) pour qu'elles soient comparables avec celles d'Agrimonde 1 (Annexe 4 page 263). NR : non renseigné

Dans le scénario Agrimonde GO, nous avons cherché à respecter au mieux les évolutions d'occupation des sols envisagées dans le scénario *Global Orchestration* du MEA. Cependant, les experts du MEA n'ont pas fondé leurs hypothèses de surfaces sur les mêmes données statistiques que celles rassemblées dans Agribiom qui, elles, proviennent de la FAO. Par conséquent, nous avons adapté les hypothèses quantitatives faites dans le cadre du MEA pour *Global Orchestration* de façon à les rendre comparables avec les hypothèses de surface faites dans Agrimonde 1. Il en résulte que les évolutions de l'occupation des sols par région dans Agrimonde GO diffèrent parfois légèrement du scénario initial *Global Orchestration* (Annexe 4 page 263 et Tableau 6.1 pour toute précision).

Dans le scénario Agrimonde 1, la formulation des hypothèses quantitatives relatives aux surfaces cultivées en 2050 s'est inscrite dans une logique différente de celle qui a prévalu pour les scénarios du MEA. Ce sont les facteurs physiques de disponibilité et de qualité des sols confrontés à des critères de durabilité qui ont guidé la construction des hypothèses, tels que la préservation d'espaces forestiers, pourvoyeurs de nombreux services écologiques.

Concrètement, nous avons d'abord cherché à identifier les réserves de terres cultivables dans chaque région. Puis, nous avons procédé au chiffrage des différents types de surfaces agricoles du scénario Agrimonde 1 en 2050, région par région, en commençant par déterminer la répartition des surfaces entre les espaces cultivés, prairiaux et forestiers, puis en précisant quelle part des surfaces cultivées sera irriguée, et enfin, quelle part sera dédiée aux agrocarburants. Ainsi, trois étapes ont présidé à la construction des hypothèses relatives aux surfaces dans chaque région :

- l'identification des réserves de terres potentiellement cultivables de chaque région ;
- le chiffrage des surfaces régionales nouvellement cultivées et des nouveaux périmètres irrigués en 2050, et par conséquent, des surfaces en forêt et en pâture restantes ;
- le chiffrage spécifique des surfaces dédiées à la production d'agrocarburants.

L'identification des réserves de terres potentiellement cultivables de chaque région, qui pourraient permettre à l'avenir l'augmentation de la production régionale, a reposé sur les estimations des surfaces aptes à l'agriculture dans chaque région du monde, données par la FAO (2003a) ainsi que par Fischer *et al.* (2001, 2000, 2002) (Chapitre 2, page 33). Via leur démarche GAEZ *(Global Agro-Ecological Zones)*, ces derniers proposent une typologie qui distingue cinq niveaux de potentiels cultivables en fonction du potentiel de rendement des sols :

- 1) Superficie de terres dont le potentiel de rendement est supérieur à 80 % du rendement maximal (VS) ;
- 2) Superficie dont le potentiel de rendement est supérieur à 60 % (VS + S) ;
- 3) Superficie dont le potentiel de rendement est supérieur à 40 % (VS + S + MS) ;
- 4) Superficie dont le potentiel de rendement est supérieur à 20 % (VS + S + MS + mS) ;
- 5) Superficie dont le potentiel de rendement est inférieur à 20 % (VS + S + MS + mS + NS).

Ces cinq niveaux sont renseignés pour une agriculture pluviale et pour une agriculture pluviale et irriguée. En d'autres termes, la démarche GAEZ propose un calcul du gain apporté par l'irrigation en fonction des données physiques locales (topographie, texture du sol, drainage du sol, ...) permettant ou non d'équiper les surfaces cultivées en irrigation, mais indépendamment de la ressource en eau disponible (voir chapitre 2 page 35).

Le chiffrage des surfaces nouvellement cultivées et des nouveaux périmètres irrigués en 2050, et par conséquent, des surfaces en forêt et en pâture restantes, s'est appuyé sur l'analyse dans chaque région :

- du potentiel cultivable en agriculture pluviale et irriguée, tel qu'il est proposé dans les études GAEZ de la FAO et de Fischer *et al.* (2001, 2000, 2002) ;
- des dynamiques antérieures d'occupation des sols des différents types de surfaces envisagés[57] ;
- des hypothèses proposées dans d'autres exercices de prospective agricole au niveau mondial : scénarios du MEA à 2050 (MEA, 2005b) ; scénario R2V de Michel Griffon à 2050 (Griffon, 2006) ; scénarios à 2025 issus d'une collaboration entre l'IFPRI et l'*International Water Management Institute* (IWMI) : *Business-As-Usua*l (BAU), *Water Crisis* (CRI), *Sustainable Water Use* (SUS) (Rosegrant *et al.*, 2002) ;
- des facteurs susceptibles de favoriser une extension des surfaces agricoles ou au contraire leur recul, comme l'impact du changement climatique sur l'évolution du potentiel cultivable, les pressions sociales diverses qui pourraient s'exercer en faveur de la conservation de la biodiversité, etc.

La conversion des terres porte à la fois sur les espaces forestiers et sur les pâturages. Dans chaque région, une règle de répartition a été établie entre la proportion des terres prises sur les forêts et la proportion prise sur les pâtures, qui limite les impacts environnementaux de la progression des terres agricoles. En particulier, nous nous sommes attachés à limiter la déforestation, même lorsque cela supposait de fortes ruptures de tendance.

Le chiffrage spécifique des surfaces dédiées à la production d'agrocarburants dans chaque région s'est appuyé sur une analyse des différentes formes de productions énergétiques à partir de la biomasse envisageables en 2050, sur des surfaces dédiées. L'hypothèse a été faite dans le scénario Agrimonde 1 qu'une nouvelle génération d'agrocarburants, produits à partir de lignocellulose ou de sous-produits alimentaires (huile de friture ou autres déchets ménagers par exemple), voire à partir de micro-algues à haut rendement lipidique, aura émergé d'ici à 2050. Elle présenterait l'intérêt de faire porter l'effort de production énergétique sur des espaces non substitués aux surfaces alimentaires, particulièrement sur les forêts en tirant profit de leur capacité de régénération. Ainsi,

57. Dans les scénarios Agrimonde, six types de surfaces sont distinguées : 1) les surfaces en cultures (y compris les plantations) incluant 2) les surfaces irriguées et 3) les surfaces dédiées à la production de biomasse non alimentaire, 4) les surfaces en pâture, 5) les surfaces en forêt et 6) les surfaces immergées et autres (incluant surfaces habitées, infrastructures, montagne). Pour toute précision, se référer au chapitre 2.

l'ordre de grandeur des surfaces occupées par des cultures ou plantations énergétiques est inférieur à 10 % de la surface cultivée dans la plupart des régions du monde dans le scénario Agrimonde 1. Après analyse des tendances à l'œuvre, ce seuil a toutefois été dépassé pour les régions d'Amérique latine et de l'OCDE où les surfaces énergétiques envisagées pour 2050 atteignent jusqu'à 20 % de la surface cultivée.

Quelle occupation des sols en Afrique du Nord - Moyen-Orient en 2050 ?

D'APRÈS LA FAO, ENTRE 1961 ET 2000, LES SURFACES CULTIVÉES en Afrique du Nord - Moyen-Orient ont crû de 0,33 % par an, les surfaces irriguées de 1,77 % par an (soit un doublement entre 1961 et 2000) et les pâtures de 0,86 % par an. En parallèle, l'espace forestier s'est réduit de 1 % par an.

En 2000, la superficie cultivée en Afrique du Nord - Moyen-Orient s'élevait à environ 83 millions d'hectares, soit la quasi-totalité des terres dont le potentiel de rendement est supérieur à 20 % du rendement maximal (VS + S + MS + mS) en agriculture pluviale et irriguée (Fischer *et al.* 2001, 2000, 2002) (Figure A2.4). Selon la FAO, le total des terres aptes à l'agriculture se situerait autour de 99 millions d'hectares, ce qui signifie qu'en 2000, 92 % de cette superficie était déjà cultivée (FAO, 2003a). « Dans certains pays (....), le solde de terres est même négatif, c'est-à-dire que la superficie des terres cultivées dépasse celle des terres considérées aptes aux cultures pluviales. Ceci est possible lorsque, par exemple, des terres trop abruptes ou trop sèches pour les cultures pluviales ont été mises en production grâce à la culture en terrasses ou à l'irrigation. » (FAO, 2003a). En première analyse, il semble donc que les réserves de terres cultivables sont déjà presque épuisées en Afrique du Nord - Moyen-Orient et que le potentiel encore disponible dépend essentiellement de l'irrigation.

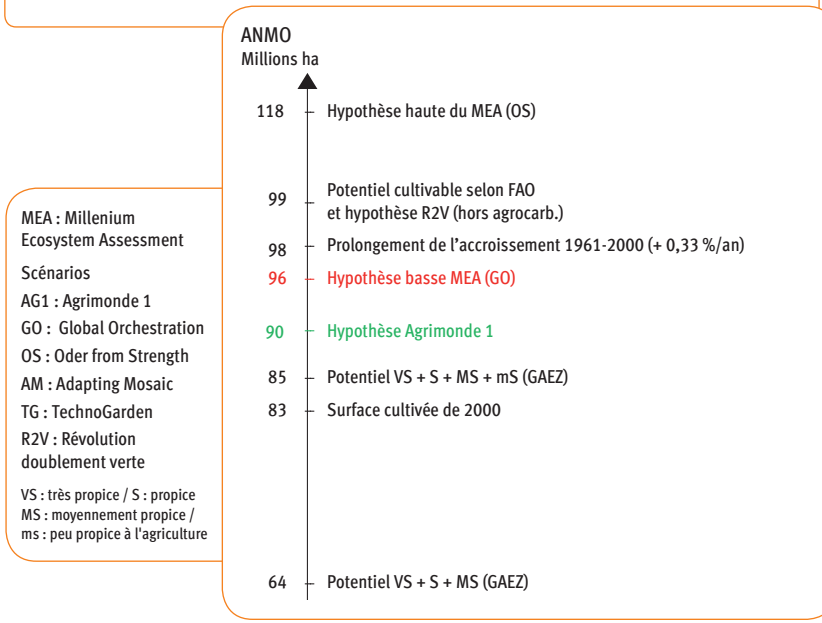
Compte tenu de la quasi-saturation du potentiel cultivable en Afrique du Nord - Moyen-Orient et du fait que ce potentiel risque de se réduire encore du fait du réchauffement climatique[58], l'hypothèse de surface cultivée dans le scénario Agrimonde 1 en Afrique du Nord - Moyen-Orient est de 90 millions d'hectares en 2050, avec une superficie négligeable dédiée aux cultures énergétiques. Cela revient à cultiver seulement 7 millions d'hectares supplémentaires par rapport à l'an 2000 (+ 0,16 % par an, soit 8 % en 50 ans), correspondants à des espaces inexploités aujourd'hui, mais aptes à l'agriculture pluviale en zone semi-aride. Cette hypothèse correspond à la mise en culture de la totalité des terres au potentiel de rendement supérieur à 20 % du rendement maximal (VS + S + MS + mS).

58. Dans son 4e rapport, le groupe de travail 2 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) projette une augmentation de température de 2 à 3,7 °C en Afrique du Nord – Moyen-Orient d'ici 2050 selon la saison et le scénario considéré (A1FI et B1). Les amplitudes de précipitations sont les plus grandes dans B1 : - 9 % en mars-avril-mai à + 29 % en septembre-octobre-novembre (IPCC, 2007b).

Elle reste très légèrement inférieure à l'hypothèse basse envisagée dans les scénarios du MEA (96 millions d'hectares dans *Global Orchestration*) et à celle envisagée dans le scénario R2V de Michel Griffon (99 millions d'hectares hors agrocarburants) (Figures 6.1 et 6.2). Bien que modeste, cet accroissement est proche d'un prolongement des tendances observées entre 1961 et 2000 (+ 0,33 % par an) qui mènerait à cultiver 98 millions d'hectares en 2050. Les 7 millions d'hectares supplémentaires mis en culture entre 2000 et 2050 dans le scénario Agrimonde 1 ont été pris sur des surfaces en pâture, de façon à préserver les espaces forestiers pour protéger les ressources en eau. Ceci implique un renversement de la tendance à l'accroissement des terres pâturées (- 0,04 % par an entre 2000 et 2050 contre + 0,86 % par an entre 1961 et 2000) et un arrêt de la déforestation observée entre 1961 et 2000.

En Afrique du Nord - Moyen-Orient, 53 % des ressources renouvelables en eau étaient déjà mobilisés par l'irrigation en 1997-1999 (FAO, 2003a). Cette région a donc déjà dépassé le seuil des 40 %, à partir duquel on considère que la disponibilité en eau devient un facteur critique[59] (FAO, 2003a). Considérant que dans cette région la pression sur l'eau est

Figure 6.1. Afrique du Nord - Moyen-Orient : repères pour la quantification des surfaces cultivées en 2050 dans le scénario Agrimonde 1.



59. La Libye et l'Arabie Saoudite utilisent déjà annuellement plus d'eau d'irrigation que n'en fournissent leurs ressources renouvelables, en puisant sur les réserves fossiles d'eau souterraine (FAO, 2003a).

déjà considérable, l'efficience de l'irrigation relativement élevée [40 % (FAO, 2003a)], et que le changement climatique pourrait fortement accentuer le stress hydrique, le scénario Agrimonde 1 n'a pas envisagé d'augmentation des périmètres irrigués. Cette hypothèse se retrouve également dans les scénarios du MEA où les surfaces irriguées sont passés de 10 à 11 millions d'hectares entre 2000 et 2050 dans l'hypothèse la plus haute (scénario *Global Orchestration*) (Figure 6.3) et dans les scénarios de l'IFPRI-IWMI à 2025

Figure 6.2. Afrique du Nord - Moyen-Orient : occupation des sols en 2000 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde 1, *Révolution doublement verte* et MEA.

MEA : Millenium Ecosystem Assessment

Scénarios
AG1 : Agrimonde 1
GO : Global Orchestration
OS : Oder from Strength
AM : Adapting Mosaic
TG : TechnoGarden
R2V : Révolution doublement verte

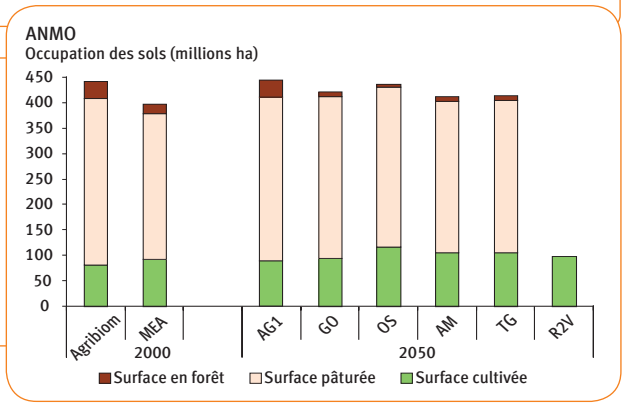
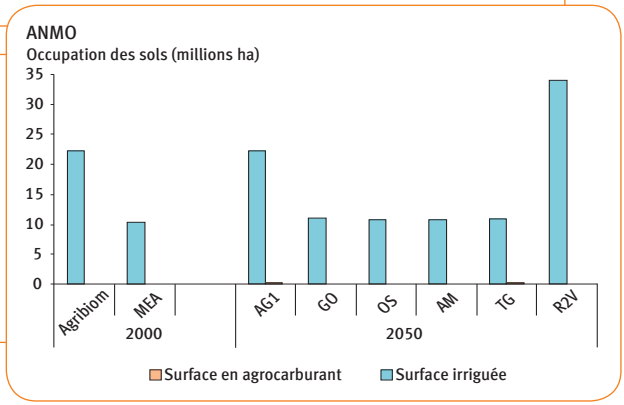


Figure 6.3. Afrique du Nord - Moyen-Orient : surfaces irriguées et surfaces dédiées aux agrocarburants en 2000 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde 1, *Révolution doublement verte* et MEA.

MEA : Millenium Ecosystem Assessment

Scénarios
AG1 : Agrimonde 1
GO : Global Orchestration
OS : Oder from Strength
AM : Adapting Mosaic
TG : TechnoGarden
R2V : Révolution doublement verte



où les surfaces céréalières irriguées sont passés de 9,8 à 10,8 millions d'hectares entre 1995 et 2025 dans l'hypothèse la plus haute (scénario BAU)[60].

Enfin, dans un contexte où l'espace agricole est déjà limité pour la production alimentaire, il n'a pas semblé cohérent dans le scénario Agrimonde 1 d'envisager une place significative aux cultures dédiées à la production d'agrocarburants. Celle-ci atteint d'ailleurs au maximum 0,2 million d'hectares dans les scénarios du MEA (le MEA inclut les surfaces en agrocarburants et celles dédiées à la filière bois-énergie).

Quelle occupation des sols en Afrique subsaharienne en 2050 ?

D'APRÈS LA FAO, ENTRE 1961 ET 2000, LES SURFACES CULTIVÉES en Afrique subsaharienne ont crû de 0,74 % par an, les surfaces irriguées de 1,79 % par an (soit un quasi-doublement entre 1961 et 2000) et les pâtures de 0,04 % par an. En parallèle, l'espace forestier s'est réduit de 0,26 % par an.

En 2000, environ 190 millions d'hectares étaient cultivés en Afrique subsaharienne. Or, le potentiel cultivable pour un rendement supérieur à 80 % du rendement maximal (VS) en agriculture pluviale et irriguée est évalué par Fischer *et al.* (2001, 2000, 2002) à 426 millions d'hectares, soit plus du double des terres effectivement cultivées en 2000 (Figure A2.4). Pour un rendement supérieur à 60 % du rendement maximal (VS + S), il s'approcherait des 800 millions d'hectares, soit quatre fois les surfaces en culture de 2000. Enfin, d'après la FAO, le total des terres aptes à l'agriculture atteindrait 1 031 millions d'hectares, plus de cinq fois les terres cultivées de l'an 2000 (FAO, 2003a).

La simple évocation de ces chiffres révèle à quel point les réserves de surfaces aptes à l'agriculture sont considérables dans cette région, autorisant l'élaboration de scénarios les plus divers en termes d'occupation des sols. Ainsi, un scénario qui aurait prolongé d'ici à 2050 le même taux de croissance des terres cultivées que celui observé entre 1961 et 2000 se traduirait par une surface cultivée de 278 millions d'hectares en 2050. L'ordre de grandeur dans lequel s'inscrivent les scénarios du MEA est légèrement supérieur, avec une surface cultivée comprise, selon les scénarios, entre 291 et 337 millions d'hectares en 2050. Cette croissance modérée des surfaces cultivées y est compensée par la progression des autres facteurs de gain de production, dont les rendements. Michel Griffon fait l'hypothèse inverse ; considérant que la capacité de la région Afrique subsaharienne à augmenter les rendements agricoles à l'avenir est faible, il envisage dans le scénario R2V un quadruplement des surfaces cultivées d'ici à 2050. Celles-ci se

60. Dans son étude *World Water and Food to 2025: Dealing with scarcity*, l'IFPRI-IWMI envisage trois scénarios avec des taux d'accroissement annuel des surfaces en céréales irriguées variant en 2050 en Afrique du Nord - Moyen-Orient de + 0,10 % dans le scénario CRI, à + 0,17 % dans le scénario SUS, à + 0,32 % dans le scénario BAU par rapport à une référence de 9,8 millions d'hectares en 1995 (Rosegrant *et al.*, 2002).

situeraient alors autour de 840 millions d'hectares hors agrocarburants, un chiffre compris, dans la typologie de l'étude GAEZ (Fischer *et al.*, 2001, 2000, 2002), entre la mise en culture des terres au potentiel de rendement supérieur à 60 % du rendement maximal (VS + S) et celle des terres au potentiel de rendement supérieur à 40 % du rendement maximal (VS + S + MS).

Dans le scénario Agrimonde 1 en Afrique subsaharienne, l'hypothèse de surface cultivée correspond à 339 millions d'hectares cultivés en 2050 (soit + 1,14 % par an entre 2000 et 2050), dont 39 millions dédiés aux surfaces énergétiques. Cette surface correspond à la mise en culture de 80 % des terres dont le rendement potentiel est supérieur à 80 % du rendement maximal (VS) et à l'hypothèse haute des scénarios du MEA (337 millions d'hectares dans le scénario *TechnoGarden*) (Figures 6.4 et 6.5). Le scénario Agrimonde 1 se voulant volontariste en matière de protection de la forêt, les nouvelles surfaces ont été prises pour 60 % sur un front pionnier sur la savane et pour 40 % sur les forêts. Ceci implique un renversement de la tendance à l'accroissement des terres pâturées (- 0,24 % par an entre 2000 et 2050) et une diminution du taux de déforestation annuel (0,19 % par an) par rapport à celui observé entre 1961 et 2000 (0,26 % par an).

Figure 6.4. Afrique subsaharienne : repères pour la quantification des surfaces cultivées en 2050 dans le scénario Agrimonde 1.

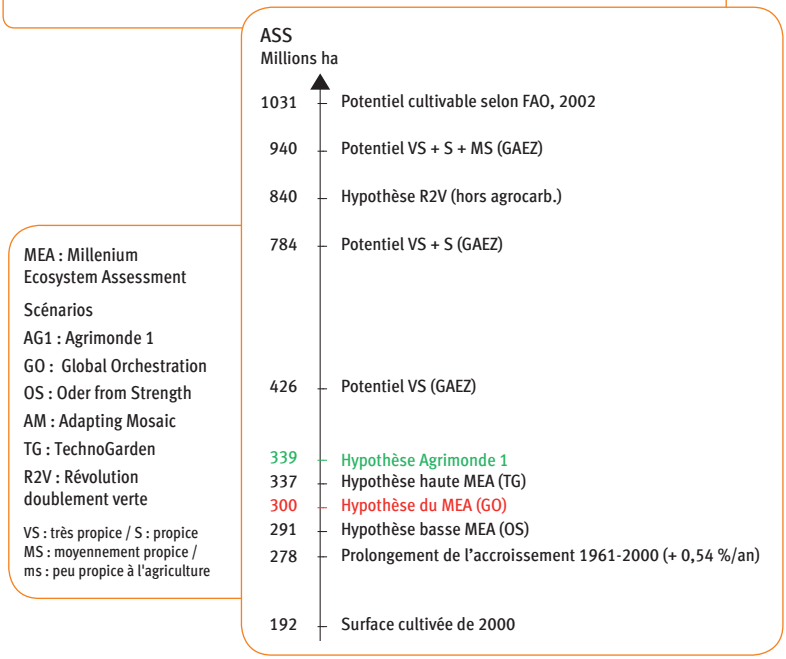
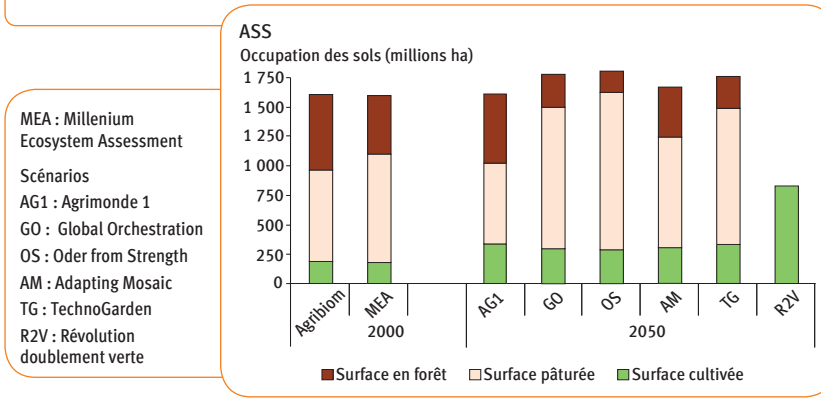


Figure 6.5. Afrique subsaharienne : occupation des sols en 2000 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde 1, *Révolution doublement verte* et MEA.



Les chiffres relatifs aux surfaces irriguées dans la région Afrique subsaharienne sont très variables selon les sources. L'IFPRI-IWMI estime à seulement 3,3 millions d'hectares la surface céréalière irriguée de cette région en 1995 mais envisage un taux d'accroissement annuel de ces surfaces de 1,11 % dans le scénario SUS[61]. Un tel taux permettrait de pratiquement doubler les superficies irriguées en 50 ans. En revanche, le MEA se fonde sur 13,2 millions d'hectares irrigués en 2000 et envisage une progression de cette surface de seulement 0,27 à 0,30 % par an d'ici à 2050 (Figure 6.6). Agrimonde s'est appuyé sur le chiffrage de la FAO, selon lequel les surfaces irriguées correspondent à 6,75 millions d'hectares en 2000 (compris dans les 190 millions d'hectares cultivés), soit un doublement par rapport aux surfaces de 1961. Le scénario Agrimonde 1 reconduit ce doublement d'ici 2050 pour atteindre une superficie irriguée de 14 millions d'hectares en 2050, soit le même ordre de grandeur que les superficies envisagées dans les scénarios du MEA (entre 15,1 et 15,5 millions d'hectares), et une progression proche de celle envisagée dans le scénario BAU de l'IFPRI-IWMI à 2025 (+ 1,47 % par an dans Agrimonde 1, + 1,33 % par an dans le scénario BAU de l'IFPRI-IWMI). Cette hypothèse s'inscrit dans une volonté de valorisation des ressources hydriques de la région, sachant que seulement 2 % de l'eau renouvelable disponible pour l'irrigation est utilisée en Afrique subsaharienne aujourd'hui (FAO, 2003a).

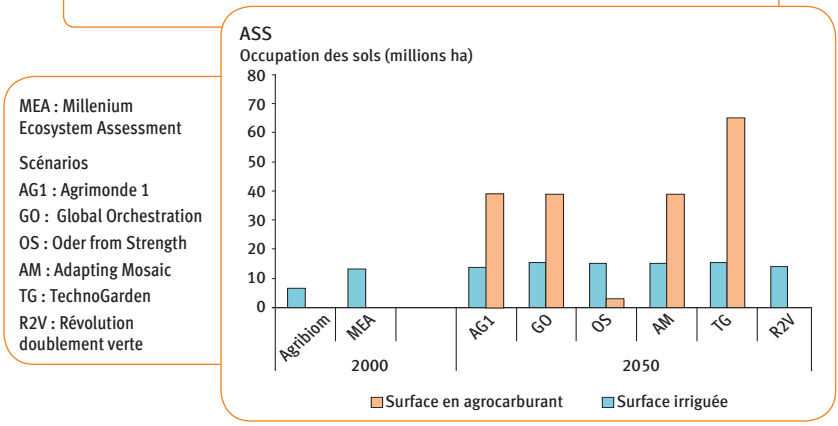
Enfin, dans le scénario Agrimonde 1, entre 2000 et 2050, les surfaces dédiées aux agrocarburants se sont accrues en Afrique subsaharienne dans la même proportion que dans

61. Dans son étude *World Water and Food to 2025: Dealing with scarcity*, l'IFPRI-IWMI envisage trois scénarios avec des taux d'accroissement annuel des surfaces irriguées en céréales variant en Afrique subsaharienne de + 1,11 % dans le scénario SUS, à + 1,26 % dans le scénario CRI, et + 1,33 % dans le scénario BAU (Rosegrant *et al.*, 2002).

les scénarios *Global Orchestration* et *Adapting Mosaic* du MEA (39 millions d'hectares, le MEA inclut les surfaces en agrocarburants et celles dédiées à la filière bois-énergie) (Figure 6.6). Il s'agit d'une croissance moyenne à l'échelle des scénarios du MEA où ces surfaces varient de 3 millions d'hectares dans *Order from Strength* à 65 millions d'hectares dans *TechnoGarden*. Dans le scénario Agrimonde 1, les surfaces dédiées aux agrocarburants ont avant tout permis de satisfaire la demande locale. Par ailleurs, quelques sites industriels produisant des agrocarburants de seconde génération ont pu être installés, notamment grâce à des capitaux étrangers, pour valoriser la biomasse du bassin du Congo et des plantations en Afrique du Sud.

Pour résumer, les hypothèses relatives aux surfaces cultivées en Afrique subsaharienne dans Agrimonde 1 restent modérées en regard de la grande réserve de terres aptes à la culture de cette région. Elles restent compatibles avec l'hypothèse formulée par le GIEC d'une aridification de la zone sahélienne et du Sud de l'Afrique[62], qui pourrait réduire le potentiel cultivable estimé jusqu'à présent. Ces hypothèses impliquent un grignotage du pourtour du bassin forestier du Congo, principalement dans sa partie Est, et la diminution d'une grande part des terres en jachère dans la zone de savane de l'Afrique de l'Ouest. Les implications de cette perte d'espaces naturels et semi-naturels sont abordées plus loin (voir chapitre 9).

Figure 6.6. Afrique subsaharienne : surfaces irriguées et surfaces dédiées aux agrocarburants en 2000 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde 1, *Révolution doublement verte* et MEA.



62. Le 4e rapport du GIEC ne précise pas les chiffres de changements de température et de pluviométrie à 2050. En revanche d'ici à 2100, les élévations de températures pourraient atteindre jusqu'à + 5 °C dans l'Ouest du Sahel et en Afrique du Sud. La pluviométrie devrait devenir beaucoup plus erratique, augmentant jusqu'à + 20 % dans la zone soudano-éthiopienne en saison des pluies et se réduisant de 20 % dans la même zone en saison sèche (IPCC, 2007c).

Quelle occupation des sols en Amérique latine en 2050 ?

D'après la FAO, entre 1961 et 2000, les surfaces cultivées en Amérique latine ont cru de 1,19 % par an, les surfaces irriguées de 2,11 % par an (soit + 125 % entre 1961 et 2000) et les pâtures de 0,47 % par an. En parallèle, l'espace forestier s'est réduit de 0,24 % par an.

En 2000, environ 160 millions d'hectares étaient cultivés en Amérique latine et les réserves de terres cultivables étaient encore considérables. Effectivement, le potentiel cultivable pour un rendement supérieur à 80 % du rendement maximal (VS) en agriculture pluviale et irriguée est estimé dans l'étude GAEZ à plus du double de cette surface (Fischer *et al.* 2001, 2000, 2002) (Figure A2.4) et le total des terres aptes à l'agriculture évalué par la FAO est six fois et demi supérieur (FAO, 2003a).

Comme en Afrique subsaharienne, un tel potentiel agricole inexploité autorise une grande latitude dans l'élaboration de scénarios à 2050. Néanmoins, les ordres de grandeur de l'extension de l'espace cultivé retenus dans les différents scénarios du MEA et dans le scénario R2V de Michel Griffon sont relativement resserrés puisqu'ils vont de 1,5 à 2,5 fois la surface de l'an 2000, soit respectivement 265 millions d'hectares dans *Global Orchestration* et 427 millions d'hectares dans l'hypothèse haute de Michel Griffon[63] (hors surfaces en agrocarburants).

Dans le scénario Agrimonde 1 en Amérique latine, la surface cultivée double presque entre 2000 et 2050 pour atteindre 310 millions d'hectares cultivés (dont 60 millions consacrés à la culture d'agrocarburants). Ce chiffrage s'inscrit dans le haut de la fourchette donnée par les scénarios du MEA (entre 265 et 325 millions d'hectares) et correspond à la borne basse retenue par Michel Griffon (308 millions d'hectares, surfaces en agrocarburants non comprises) (Figures 6.7 et 6.8). En termes de tendance, une telle hypothèse implique un taux d'accroissement des terres cultivées légèrement supérieur à celui observé entre 1961 et 2000 (+ 1,30 % entre 2000 et 2050 contre + 1,19 % entre 1961 et 2000). En outre, la préservation des espaces forestiers latino-américains d'ici 2050 est posée par hypothèse, les nouvelles surfaces cultivées ont donc été prises pour trois quarts sur les pâtures et pour un quart sur les forêts. Ceci implique un renversement très significatif de la tendance à l'accroissement des terres pâturées (- 0,44 % par an entre 2000 et 2050 contre + 0,47 % par an entre 1961 et 2000) et une diminution drastique du taux de déforestation (- 0,24 % par an entre 1961 et 2000 contre - 0,08 % par an entre 2000 et 2050).

Seulement 1 % des ressources renouvelables en eau est aujourd'hui prélevé par l'irrigation en Amérique latine (FAO, 2003a). L'agriculture est essentiellement pluviale, sauf dans quelques zones désertiques et sur la côte Ouest. En outre d'après Fischer *et al.* (2001, 2000,2002), le potentiel cultivable en agriculture pluviale est considérable et très

63. Michel Griffon propose une hypothèse haute et une hypothèse basse de surface cultivée pour la région Amérique latine alors qu'il ne propose qu'une seule hypothèse pour les autres régions (Griffon, 2006).

Figure 6.7. Amérique latine : repères pour la quantification des surfaces cultivées en 2050 dans le scénario Agrimonde 1.

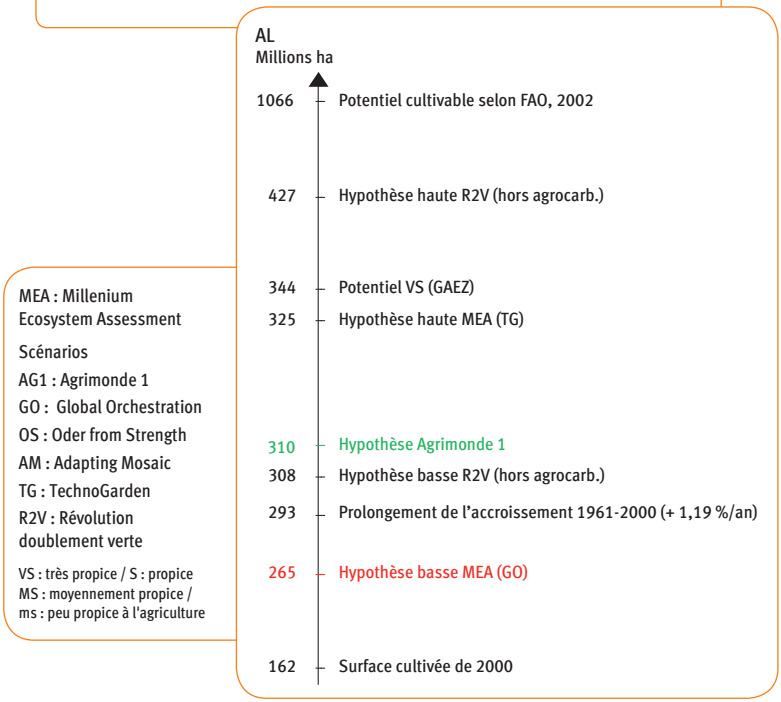
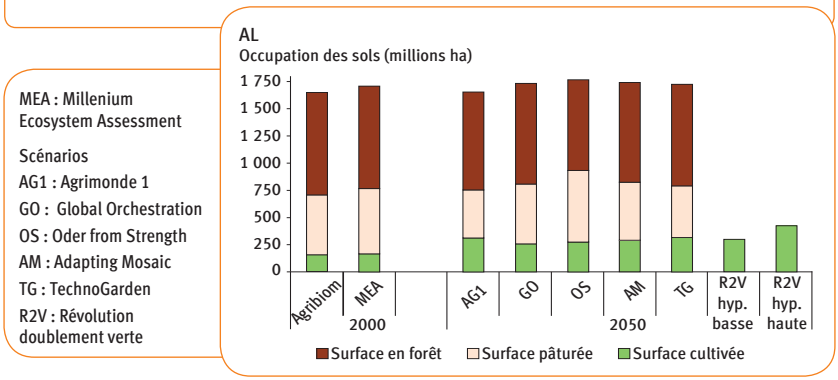


Figure 6.8. Amérique latine : occupation des sols en 2000 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde 1, *Révolution doublement verte* et MEA.



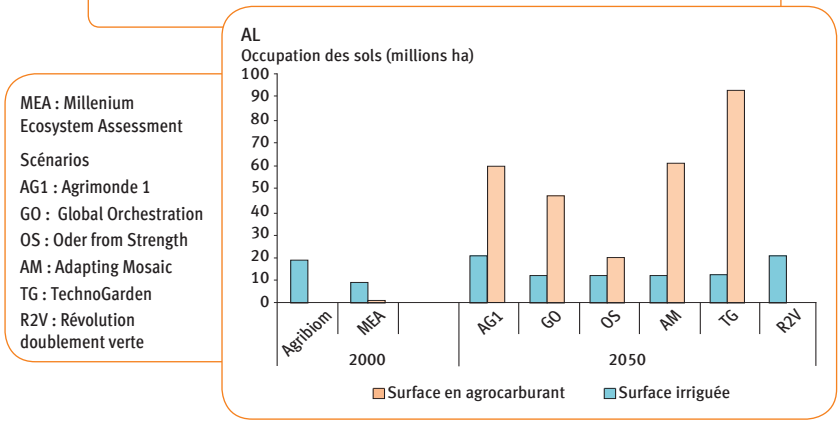
proche du potentiel cultivable en agriculture pluviale et irriguée (320 millions d'hectares au potentiel de rendement supérieur à 80 % du rendement maximal en agriculture pluviale [VS] contre 344 millions d'hectares en agriculture pluviale et irriguée). Il est par conséquent supposé dans le scénario Agrimonde 1, qu'entre 2000 et 2050, l'irrigation ne serait pas un moyen essentiel pour assurer l'extension des terres cultivées envisagée et que les surfaces irriguées se maintiendraient à peu près au même niveau qu'en 2000. Cette hypothèse est proche de celle formulée dans les autres scénarios (+ 3 millions d'hectares en 50 ans dans les scénarios du MEA, + 2 millions d'hectares en 30 ans pour les surfaces céréalières dans les scénarios de l'IFPRI-IWMI[64]). Il faut toutefois noter que les surfaces irriguées de l'année de référence sont très variables d'un exercice de prospective à un autre. Elles sont estimées à 19 millions d'hectares en 2000 dans Agrimonde (d'après la FAO), à seulement 9 millions en 2000 dans le MEA et à 7,5 millions en 1995 pour les surfaces irriguées en céréales dans la prospective l'IFPRI-IWMI à 2025 (Rosegrant *et al.*, 2002).

En Amérique latine, les filières des agrocarburants ont connu une forte progression à la fin du XX^e^ siècle et au début du XXI^e^ siècle, en particulier les filières de canne à sucre et de soja. Il a donc été considéré que le montant des investissements engagés, les capacités techniques mises en place ainsi que la grande disponibilité de terres cultivables sont autant d'incitations à la poursuite de leur essor. Dans le scénario Agrimonde 1, les surfaces dédiées à la production d'agrocarburants ont donc continué à augmenter. Dans un premier temps, elles ont servi la production régionale d'agrocarburants de première génération, puis des industries plus lourdes produisant des agrocarburants de seconde génération à partir de ligno-cellulose ont été mises en place un peu avant 2050. De même, l'hypothèse est faite que certains pays comme le Brésil, riches en eau douce et marine, ont accru leurs capacités à produire des agrocarburants à partir des algues. Avec 60 millions d'hectares dédiés aux cultures énergétiques (soit 19 % des surfaces cultivées), la surface envisagée dans le scénario Agrimonde 1 se situe dans la même fourchette que les hypothèses des scénarios du MEA (entre 47 et 93 millions d'hectares, le MEA inclut les surfaces en agrocarburants et celles dédiées à la filière bois-énergie), plus précisément au même niveau que dans le scénario *Adapting Mosaic* (Figure 6.9).

En somme, le potentiel agricole de la région Amérique latine est indiscutable mais le scénario Agrimonde 1 suppose une augmentation modérée des surfaces en culture permettant la préservation des forêts en 2050. Une part non négligeable des surfaces en savanes *(cerrado)* ou en pâtures a alors été utilisée pour la culture. Les systèmes de production adoptés sur ces espaces, ainsi que les incitations qui ont présidé à la mise en œuvre de mesures de préservation de la forêt, seront précisés (voir chapitre 9).

64. Dans son étude *World Water and Food to 2025: Dealing with scarcity*, l'IFPRI-IWMI envisage trois scénarios avec des taux d'accroissement annuel des surfaces irriguées en céréales variant en Amérique latine de + 0,76 % dans le scénario CRI, à + 0,86 % dans le scénario SUS, et + 0,90 % dans le scénario BAU (Rosegrant *et al.*, 2002).

Figure 6.9. Amérique latine : surfaces irriguées et surfaces dédiées aux agrocarburants en 2000 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde 1, *Révolution doublement verte* et MEA.



Quelle occupation des sols en Asie en 2050 ?

D'APRÈS LA FAO, ENTRE 1961 ET 2000, LES SURFACES CULTIVÉES en Asie se sont accrues de 0,54 % par an, les surfaces irriguées de 1,84 % par an (soit approximativement un doublement entre 1961 et 2000) et les pâtures de 0,79 % par an. En parallèle, l'espace forestier s'est réduit de 0,14 % par an.

Dans la région Asie, le potentiel cultivable pour un rendement supérieur à 60 % du rendement maximal (VS + S) en agriculture pluviale et irriguée serait de 407 millions d'hectares selon Fischer *et al.* (2001, 2000, 2002) (Figure A2.4). Cette surface a été dépassée au cours de l'année 1985 et la surface cultivée atteint aujourd'hui environ 450 millions d'hectares selon la FAO, ce qui signifie que les agriculteurs asiatiques mettent déjà en valeur des terres au potentiel de rendement inférieur à 60 % du rendement maximum. D'après la FAO, le total des terres aptes à l'agriculture en Asie se situerait plutôt autour de 586 millions d'hectares, et serait déjà exploité à 63 % en Asie de l'Est et à 94 % en Asie du Sud (FAO, 2003a). La plupart des prospectives sur les surfaces cultivées en Asie tiennent compte de la saturation du potentiel cultivable dans cette région.

Dans le scénario Agrimonde 1 en Asie, l'hypothèse de surface cultivée correspond à 560 millions d'hectares cultivés et plantés en 2050 dont 20 millions consacrés aux cultures énergétiques. Ce chiffre correspond à un taux d'accroissement annuel de 0,42 % entre 2000 et 2050, soit le même ordre de grandeur que l'hypothèse haute des scénarios du MEA, observée dans *Order from Strength* et que celle du scénario R2Vde Michel Griffon (surfaces en agrocarburants déduites) (Figures 6.10 et 6.11). Les nouvelles terres mises

en culture entre 2000 et 2050 ont été prises à parts égales sur les pâtures et sur les forêts. Ceci implique un renversement de la tendance actuelle à l'accroissement des terres pâturées (- 0,20 % par an entre 2000 et 2050) et une très légère hausse du taux de déforestation annuel (0,22 % par an) par rapport à celui observé entre 1961 et 2000 (0,14 % par an).

Figure 6.10. Asie : repères pour la quantification des surfaces cultivées en 2050 dans le scénario Agrimonde 1.

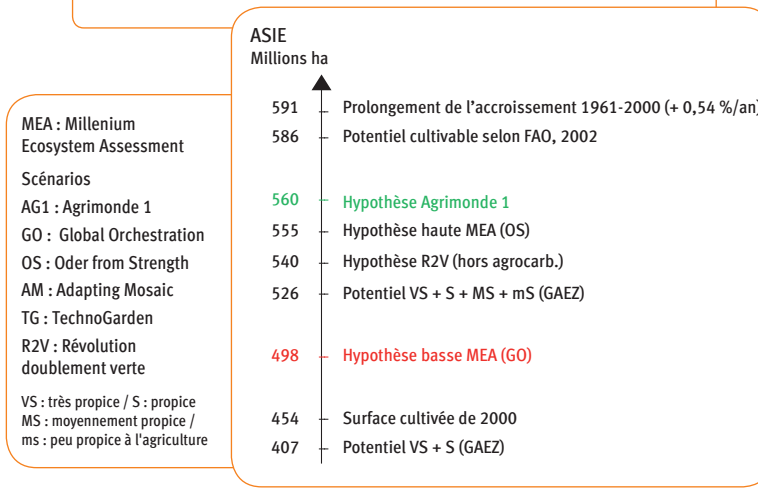
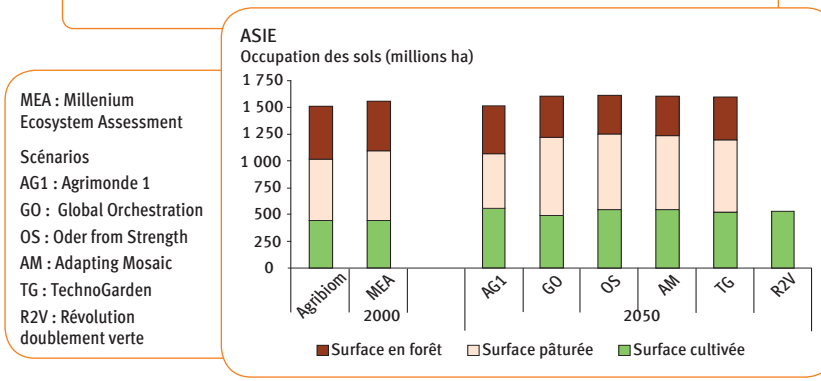


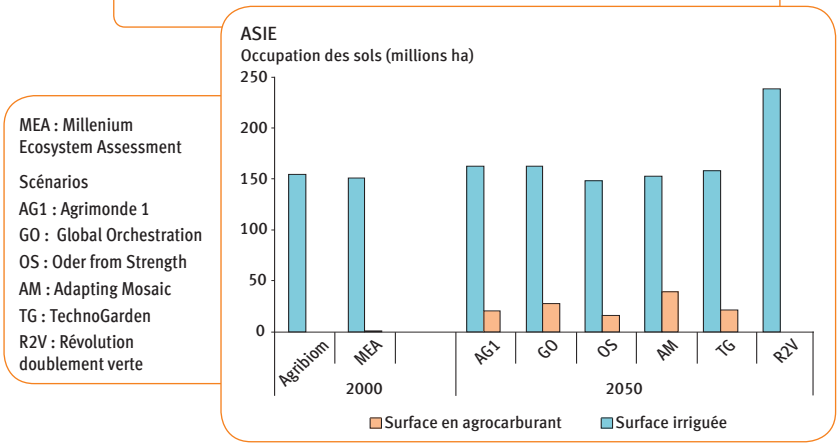
Figure 6.11. Asie : occupation des sols en 2000 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde 1, *Révolution doublement verte* et MEA.



Les projets de développement de l'irrigation dans cette région et notamment en Chine passent par la construction de barrages qui est controversée quant aux effets environnementaux et sociaux. Le scénario Agrimonde 1 n'a donc retenu qu'une faible progression des surfaces irriguées (+ 0,11 % entre 2000 et 2050 contre + 1,84 % entre 1961 et 2000) pour atteindre 163 millions d'hectares irrigués en 2050 (compris dans les 560 millions d'hectares cultivés). Cette hypothèse peut paraître faible au regard des projections de la FAO (+ 0,33 % par an jusqu'à 2030) qui considèrent que l'Asie de l'Est exploitera les trois quarts de sa superficie irrigable en 2030, et l'Asie du Sud presque 90 % (FAO, 2003a). Elle reste également en-deçà de l'ordre de grandeur retenu dans le scénario SUS de l'IFPRI-IWMI[65] à 2025 (+ 0,14 % par an pour les surfaces céréalières jusqu'en 2025), qui s'inscrit dans une logique de développement durable. Cette hypothèse consiste en particulier à considérer que les ressources en eau disponibles ont constitué un facteur limitant à l'accroissement futur de l'irrigation. Elle se situe dans le haut de la fourchette envisagée dans les scénarios du MEA (accroissement compris entre - 0,04 % dans *Global Orchestration* et + 0,15 % dans *Order from Strength*) (Figure 6.12).

Enfin, on suppose dans le scénario Agrimonde 1 que la pression très importante sur les terres à vocation alimentaire a limité l'essor des agrocarburants[66]. En Asie, les surfaces dédiées aux agrocarburants concernent 20 millions d'hectares en 2050 ; elles représentent

Figure 6.12. Asie : surfaces irriguées et surfaces dédiées aux agrocarburants en 2000 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde 1, *Révolution doublement verte* et MEA.



65. Dans son étude *World Water and Food to 2025: Dealing with scarcity*, l'IFPRI-IWMI envisage trois scénarios au taux d'accroissement annuel des surfaces irriguées en céréales variant en Asie de + 0,03 % dans le scénario CRI, + 0,23 % dans le scénario SUS, à 0,32 % dans le scénario BAU (Rosegrant *et al.*, 2002).

66. Cette hypothèse est également défendue par Johnson *et al.* (2008).

moins de 4 % des terres cultivées, soit une hypothèse proche de celle du scénario *TechnoGarden* (le MEA inclut les surfaces en agrocarburants et celles dédiées à la filière bois-énergie) (Figure 6.12). La production d'agrocarburants terrestres est notamment le fait de plantations de palmiers à huile en Asie du Sud-Est et en Indonésie. Cependant, la principale source d'agrocarburants en Asie en 2050 pourrait être fournie par des algues, sur des surfaces aquatiques marines. Cette hypothèse confirmerait alors l'importance qu'a pris la culture d'algues ces dernières années ; entre 1996 et 2006, la production d'algues rouges cultivées a presque doublé (FAOSTAT, 2008), et 95 % de celles-ci sont produites en Asie (Kaas, 2006).

Fortement consommateur d'espace, le choix de ce jeu d'hypothèses de surfaces cultivées, irriguées, prairiales et forestières est largement motivé par l'idée que la population active agricole en croissance dans cette région aura cherché à repousser les frontières de l'espace agricole pour pérenniser son activité[67]. Cela se traduira dans la réalité par une avancée significative des fronts pionniers indonésiens et de Chine du Nord (Griffon, 2006) et par le déplacement des zones de production vers le Nord (Taithe, 2007) où le climat aura été rendu plus favorable à l'agriculture contrairement à l'Asie du Sud[68] . Pour que cette hypothèse de croissance des surfaces cultivées soit possible, et pour qu'elle soit compatible avec des objectifs de durabilité, elle va de pair avec un certain nombre de changements de pratiques majeurs qui seront étudiés (voir chapitre 9).

Quelle occupation des sols en Ex-URSS en 2050 ?

D'APRÈS LA FAO, ENTRE 1961 ET 2000, LES SURFACES CULTIVÉES en Ex-URSS ont décru de 0,43 % par an, les surfaces irriguées ont augmenté de 2,09 % par an (soit + 125 % entre 1961 et 2000) et les pâtures de 0,44 % par an. En parallèle, l'espace forestier s'est réduit de 0,20 % par an. Cependant, les séries passées sont très chaotiques et leur fiabilité peut être mise en question.

En 2000, toutes les terres d'Ex-URSS dont le potentiel de rendement est supérieur à 80 % du rendement maximal (VS) en agriculture pluviale et irriguée étaient déjà cultivées. On comptait 203 millions d'hectares en culture, c'est-à-dire qu'il ne restait de disponible que 13 % des terres dont le potentiel de rendement est supérieur à 60 % du rendement maximal (VS + S), ou 40 % des terres dont le potentiel de rendement est supérieur à 40 % (VS + S + MS) (Fischer *et al.* 2001, 2000, 2002) (Figure A2.4). *A priori*, cette région pourrait encore étendre ses surfaces

67. La surface cultivée par habitant serait alors réduite à 0,23 ha en 2050 contre 0,31 ha en 2000 et 0,51 ha en 1961.

68. Dans son 4e rapport, le groupe de travail 2 du GIEC projette une augmentation de température de 3,1 à 6,6 °C en Asie du Nord d'ici 2050 selon la saison et le scénario considéré (A1FI et B1). Les précipitations augmenteraient globalement (+ 8 % en juin-juillet-août dans B1 à + 35 % en décembre-janvier-février dans A1FI). Le climat pourrait ainsi devenir plus favorable à l'agriculture. En revanche en Asie du Sud, le climat chaud et humide sera exacerbé par une augmentation des températures de 0,9 à 3,1 °C, et des précipitations de 0 à 26 % selon la saison et le scénario considéré (A1FI et B1) (IPCC, 2007b).

cultivées mais de façon modérée seulement. Cependant, les effets du changement climatique pourraient libérer de nouvelles réserves de terres agricoles à l'avenir (Encadré 6.2).

Dans le scénario Agrimonde 1, l'hypothèse de surface cultivée en Ex-URSS est de 310 millions d'hectares en 2050, dont 10 millions sont consacrés aux agrocarburants. Cette surface correspond au même ordre de grandeur que la borne haute retenue dans les scénarios du MEA (304 millions d'hectares dans *TechnoGarden*) mais reste inférieure aux 339 millions d'hectares recensés dans l'étude GAEZ comme cultivables à un niveau de rendement supérieur à 40 % du rendement maximal (VS + S + MS), effets du réchauffement climatique non intégrés (Fischer *et al.* 2001, 2000, 2002) (Figures 6.13 et 6.14). Le potentiel cultivable permettrait une telle augmentation des surfaces cultivées d'ici 2050. Néanmoins, afin de préserver les forêts de cette région, l'hypothèse retenue correspond à une extension des terres cultivées de 107 millions d'hectares dans le sud de la région, sur des terres actuellement en pâture. Les espaces pâturés se déplaceraient alors vers le nord, notamment sur 48 millions d'hectares de terres dégagées par la fonte du pergélisol. Ceci implique une stagnation des surfaces en forêts entre 2000 et 2050 alors qu'elles ont été en progression dans cette région dans tous les scénarios du MEA. Les terres pâturées se sont réduites de 0,36 % par an entre 2000 et 2050, soit deux fois moins vite que dans les scénarios du MEA, mettant fin à la tendance de progression des espaces pâturés observée entre 1961 et 2000 (0,44 % par an). Au bilan, la mise en culture s'est essentiellement faite sur des espaces prairiaux du sud de l'Ex-URSS, et a repoussé les pâtures vers le nord, au gré de la fonte du pergélisol.

Dans le scénario Agrimonde 1, les surfaces irriguées se sont maintenues à leur niveau de 2000, compte tenu de la rareté de la ressource en eau dans cette région, et en particulier en Asie centrale. C'est aussi l'hypothèse des scénarios du MEA qui ont envisagé au plus une augmentation des périmètres irrigués de 1,5 million d'hectares, et au moins, une réduction de 2,3 millions d'hectares (MEA, 2005b)[69]. Enfin, les scénarios du MEA ont tous misé sur un

Encadré 6.2 – Changement climatique et potentiel cultivable en Ex-URSS

Dans les régions situées au Nord du 60e parallèle, le dégel du pergélisol et l'accroissement de la pluviosité, consécutifs à l'élévation des températures et au ralentissement de la circulation thermoalyne, libèreraient des surfaces de plaine immenses. Pour un réchauffement de 4°C, la limite sud du pergélisol sibérien pourrait remonter de 100 à 200 km vers le Nord (IPCC, 2001). Les terres arables de la région de l'Ex-URSS pourraient passer de 216 à 314 millions d'hectares selon la base de données TERRASTAT de la FAO. Le potentiel cultivable de la Russie à l'horizon 2080 serait estimé à 64 % d'augmentation par rapport à 1990, soient 245 millions d'hectares supplémentaires (Fischer *et al.*, 2005).

69. Dans les scénarios de l'IFPRI-IWMI, les chiffrages relatifs aux surfaces céréalières irriguées en Ex-URSS sont inclus dans un découpage plus large « Pays développés ». C'est pourquoi il n'y a pas été fait référence pour la formulation des hypothèses quantitatives du scénario Agrimonde 1.

Figure 6.13. Ex-URSS : repères pour la quantification des surfaces cultivées en 2050 dans le scénario Agrimonde.

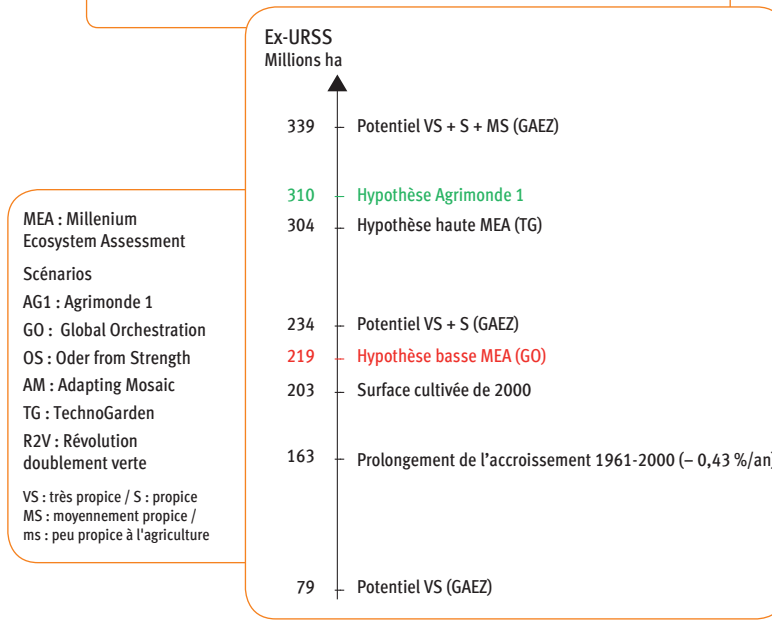
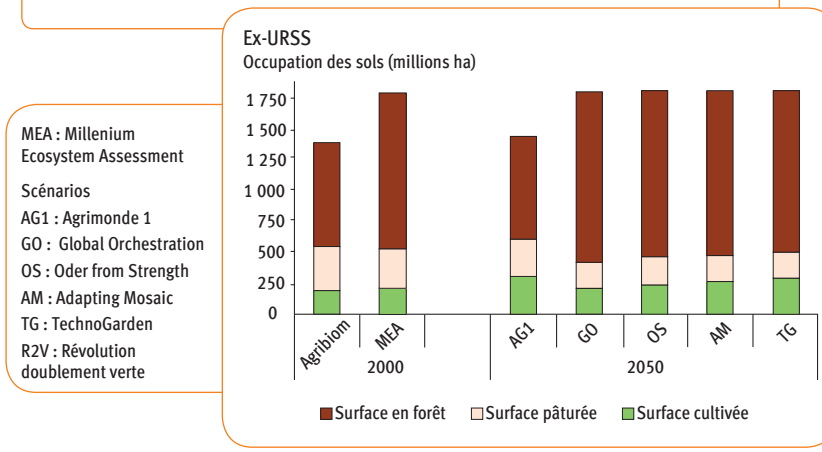


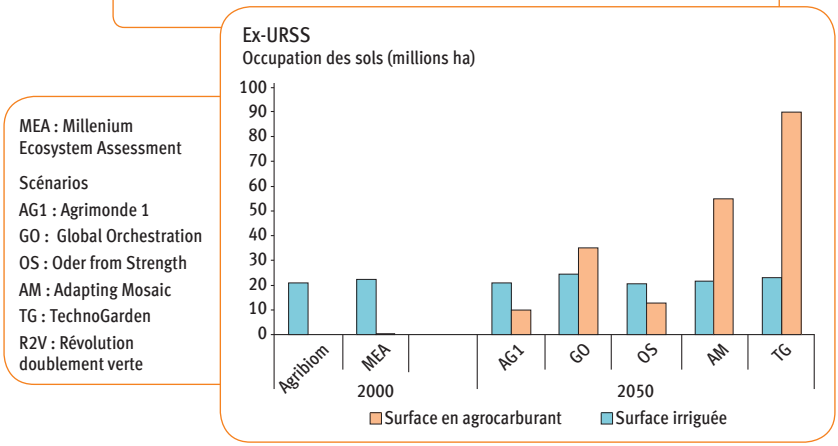
Figure 6.14. Ex-URSS : occupation des sols en 2000 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde 1, *Révolution doublement verte* et MEA



essor des cultures énergétiques pouvant se traduire par la mise en culture de 13 à 90 millions d'hectares de surfaces dédiées (le MEA inclut les surfaces en agrocarburants et celles dédiées à la filière bois-énergie) (MEA, 2005b) (Figure 6.15). Dans le scénario Agrimonde 1, du fait de l'important potentiel forestier de la région, nous avons fait l'hypothèse que les agrocarburants se sont étendus essentiellement sous forme de plantations forestières. Les surfaces qui leur sont consacrées s'élèvent à 10 millions d'hectares en 2050 (compris dans les 310 millions d'hectares cultivés), soit l'ordre de grandeur retenu dans le scénario *Order from Strength*.

En somme, dans le scénario Agrimonde 1, plus de 100 millions d'hectares supplémentaires ont été mis en culture en Ex-URSS d'ici à 2050. Une telle croissance des surfaces cultivées pose la question de leur mode de mise en valeur (voir chapitre 9).

Figure 6.15. Ex-URSS : surfaces irriguées et surfaces dédiées aux agrocarburants en 2000 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde 1 et MEA.



Quelle occupation des sols dans la région OCDE en 2050 ?

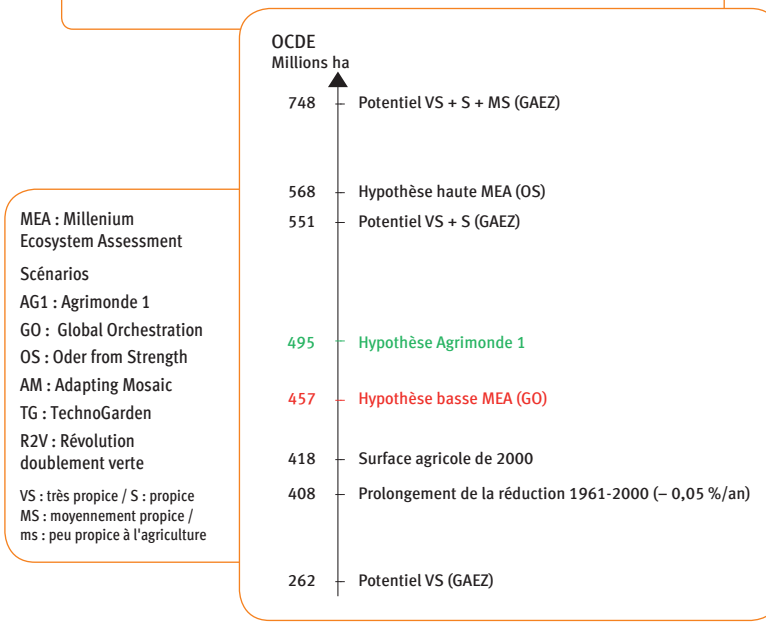
D'APRÈS LA FAO, ENTRE 1961 ET 2000, LES SURFACES CULTIVÉES de la région OCDE ont régressé en moyenne de 0,05 % par an, les pâtures de 0,21 % par an, et les forêts de 0,23 % par an. Seules les surfaces irriguées ont crû, de 1,42 % par an.

En 2000, toutes les terres de la région OCDE dont le potentiel de rendement est supérieur à 80 % du rendement maximal (VS) en agriculture pluviale et irriguée étaient déjà cultivées. On comptait 419 millions d'hectares en culture, c'est-à-dire selon l'étude GAEZ,

que 24 % des terres dont le potentiel de rendement est supérieur à 60 % du rendement maximal (VS + S) restaient disponibles, ou 44 % des terres dont le potentiel de rendement est supérieur à 40 % (VS + S+ MS) (Fischer *et al.* 2001, 2000, 2002) (Figure A2.4). *A priori*, cette région conserve des réserves de terres cultivables. Celles-ci pourraient se voir augmentées à l'avenir sous l'effet de la fonte du pergélisol au Nord du Canada induit par le réchauffement climatique.

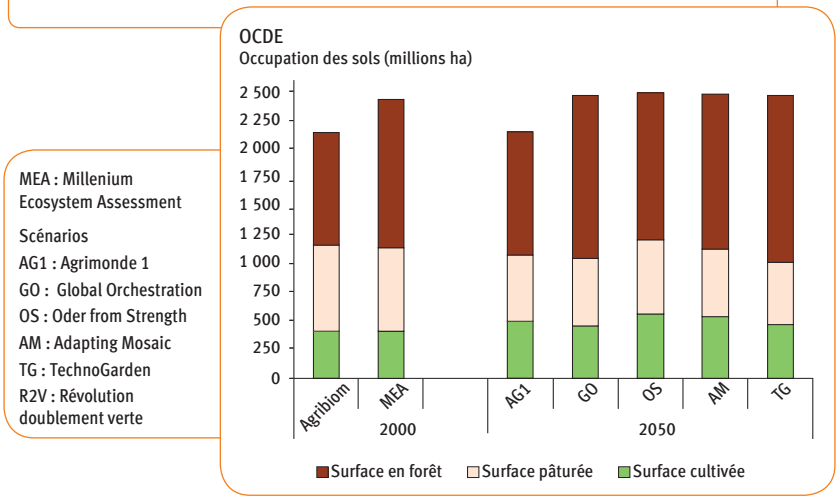
Dans le scénario Agrimonde 1 en OCDE, l'hypothèse de surface cultivée est de 495 millions d'hectares en 2050, dont 95 millions sont consacrés aux agrocarburants. Cette hypothèse de surfaces cultivées se situe dans la borne basse des surfaces envisagées dans les scénarios du MEA [457 millions d'hectares dans *Global Orchestration* (MEA, 2005b)] (Figures 6.16 et 6.17) et correspond à la mise en culture de 90 % des terres recensées dans l'étude GAEZ comme cultivables à un niveau de rendement supérieur à 60 % du rendement maximal (VS + S), effets du réchauffement climatique non intégrés (Fischer *et al.*, 2000, 2001, 2002).

Figure 6.16. OCDE : repères pour la quantification des surfaces cultivées en 2050 dans le scénario Agrimonde[1].



(1) Dans les travaux de la FAO ainsi que dans l'ouvrage de Michel Griffon, les chiffrages relatifs à la région OCDE sont inclus dans un découpage plus large : « Pays industrialisés ». C'est pourquoi ces deux sources n'ont pas été retenues parmi les points de repères utilisés durant la formulation des hypothèses quantitatives pour le scénario Agrimonde 1 dans la région OCDE.

Figure 6.17. OCDE : occupation des sols en 2000 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde 1, *Révolution doublement verte* et MEA.

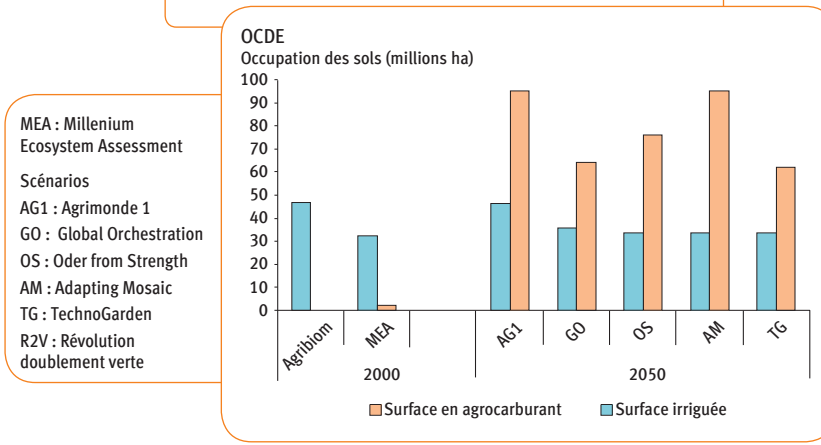


Il faut préciser que dans le scénario Agrimonde 1, cet accroissement des surfaces cultivées a été uniquement dû à l'essor des cultures énergétiques, cachant même une régression très nette des surfaces cultivées alimentaires (- 18 millions d'hectares). Parallèlement, la tendance au reboisement des paysages observée dans la région OCDE entre 1990 et 2003 s'est poursuivie et s'est même encore accentuée. Alors que les surfaces forestières avaient progressé de 0,11 % par an entre 1990 et 2003 (+ 14 millions d'hectares), elles ont encore gagné 0,19 % par an entre 2000 et 2050 dans le scénario Agrimonde 1. Les pâturages ont été la variable d'ajustement, régressant de 176 millions d'hectares au profit des surfaces énergétiques et forestières. Conjointement à leur recul global dans la région, un avancement plus local des zones en pâture au Nord du Canada, au gré de la fonte du pergélisol, n'a pas pour autant été exclu.

Dans Agrimonde 1 pour cette région, l'extension des surfaces cultivées s'est faite sans progression des surfaces irriguées, ce qui est également le cas dans les scénarios du MEA[70] (Figure 6.18). L'accroissement important des surfaces dédiées aux agrocarburants est à la hauteur de celui envisagé dans *Adapting Mosaic* (le MEA inclut les surfaces en agrocarburants et celles dédiées à la filière bois-énergie), le scénario qui laisse le plus de place aux surfaces énergétiques [95 millions d'hectares contre 62 dans *TechnoGarden*, l'hypothèse la plus basse du MEA (MEA, 2005b)].

70. Dans les scénarios de l'IFPRI-IWMI, les chiffrages relatifs aux surfaces céréalières irriguées de la région OCDE sont inclus dans un découpage plus large « Pays développés ». C'est pourquoi il n'y a pas été fait référence pour la formulation des hypothèses quantitatives du scénario Agrimonde 1.

Figure 6.18. OCDE : surfaces irriguées et surfaces dédiées aux agrocarburants en 2000 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde 1 et MEA.



Quelle occupation des sols dans le monde en 2050 ?

D'APRÈS LA FAO, DANS LE MONDE, LES SURFACES CULTIVÉES (cultures arables et permanentes) étaient estimées au début du XXIe siècle à 1,5 milliard d'hectares, soit environ 11 % de la superficie en terres de la planète. Ce chiffre est supérieur de 12 % à celui enregistré en 1961, ce qui représente une augmentation annuelle moyenne de 4 millions d'hectares pendant ces 40 dernières années.

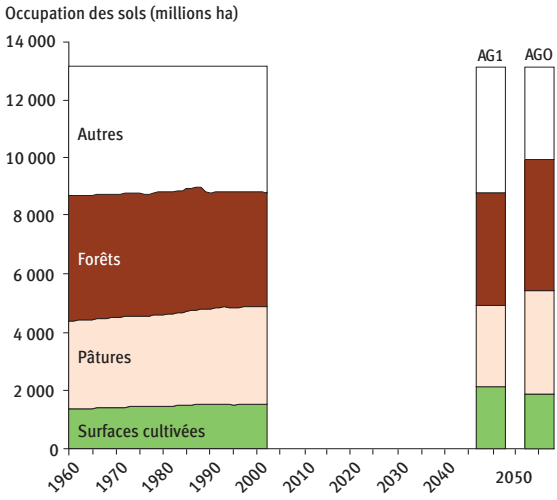
Cette hausse des surfaces cultivées se répartit différemment selon les régions (Tableau 6.1). Ainsi, l'Afrique subsaharienne et l'Amérique latine sont les zones où les nouvelles surfaces cultivées ont été les plus importantes, avec des augmentations respectives de 34 % et de 58 %. Les surfaces forestières semblent avoir été la variable d'ajustement sur le continent africain, tandis que leur diminution n'explique pas l'ensemble de l'augmentation des surfaces cultivées et en pâture en Amérique latine. Le potentiel cultivable, encore important dans ces zones, permet de comprendre, pour partie, l'extension importante des terres cultivées qu'ont connu ces deux régions. L'Asie et l'Afrique du Nord - Moyen-Orient ont vu leur surface cultivée augmenter modérément (23 % et 14 %). Ces faibles évolutions s'expliquent par une extension des superficies qui se rapproche fortement de la limite des potentiels cultivables. Seules l'Ex-URSS et la région OCDE peuvent faire état de surfaces cultivées en baisse. Dans ces régions, les potentiels cultivables ne sont pas encore atteints et la diminution des surfaces cultivées est associée à des phénomènes différents : activité économique au ralenti en Ex-URSS et expansion de la forêt et de l'urbanisation en OCDE.

Les surfaces irriguées, qui sont incluses dans les chiffres mentionnés ci-dessus, n'ont pas suivi la même évolution. Elles ont augmenté dans toutes les régions d'environ 100 % entre 1961 et 2000, et représentaient, en 2000, 18 % des surfaces cultivées mondiales. Cette forte hausse au cours des 40 dernières années pose la question de la poursuite d'une telle évolution, conditionnée par les ressources en eau, notamment dans les régions où les surfaces irriguées représentaient déjà en 2000 une proportion importante des terres cultivées : Asie (34 %) et Afrique du Nord - Moyen-Orient (27 %).

L'évolution des pâtures entre 1961 et 2000 permet de distinguer deux groupes de régions : celui où la pâture a fortement augmenté et celui où elle a stagné voire même diminué. Dans le premier groupe se trouvent l'Amérique latine (+ 20 %), l'Asie (+ 36 %), l'Ex-URSS (+ 19 %) et l'Afrique du Nord - Moyen-Orient (+ 39 %). Dans le second groupe, se trouvent l'Afrique subsaharienne (stagnation) et l'OCDE où elle a diminué fortement, pour laisser place aux forêts et à l'urbanisation.

Dans Agrimonde GO, qui reprend les hypothèses d'occupation des sols du scénario *Global Orchestration*, moyennant un facteur correctif précisé dans l'annexe 4 (page 263), entre 2000 et 2050, les surfaces cultivées mondiales ont progressé de 23 %, à un rythme moyen de 6,8 millions d'hectares nouvellement cultivés par an, soit un rythme 1,7 fois plus rapide que celui observé entre 1961 et 2000 (Figure 6.19 et Tableau 6.1). Les nouvelles surfaces

Figure 6.19. Occupation des sols dans le monde de 1961 à 2003 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde.



AG1 : scénario Agrimonde 1
AGO : scénario Agrimonde GO

Tableau 6.2. Facteurs explicatifs de l'évolution de l'occupation des sols dans Agrimonde 1.

Région	Forces motrices dans la progression des surfaces cultivées	Facteurs limitant la progression des surfaces cultivées
Afrique du Nord - Moyen-Orient		Saturation du potentiel de terres cultivables Accentuation du stress hydrique avec le changement climatique Nécessité de préservation des espaces forestiers pour le fonctionnement hydrologique Artificialisation due à l'urbanisation
Afrique subsaharienne	Réserve de terres cultivables Capacité limitée, en termes de gouvernance, à freiner l'avancée du front pionnier sur les savanes et le bassin forestier du Congo Politiques de développement agricole et rural : désenclavement et organisation des campagnes	Aridification suite au changement climatique
Amérique latine	Réserve de terres cultivables Politiques agricoles (recherche, formation, développement) Croissance de la production d'agrocarburants	Aridification en Amérique centrale et du *cerrado* suite au changement climatique Montée en puissance des différents groupes de pression pour la préservation de la forêt amazonienne
Asie	Population agricole en forte croissance	Saturation du potentiel de terres cultivables Accentuation du stress hydrique suite au changement climatique en Chine du Nord Artificialisation due à l'urbanisation
Ex-URSS	Réserve de terres cultivables Fonte du pergélisol	Déclin démographique
OCDE	Réserve de terres cultivables Fonte du pergélisol au Canada Croissance de la production d'agrocarburants	Reboisement Mécanisme de conservation d'espaces protégés

cultivées ont été trouvées essentiellement en Afrique subsaharienne et en Amérique latine et dans une moindre mesure en Asie et en OCDE alors que la superficie cultivée a quasiment stagné dans les deux régions restantes. Les tendances à l'accroissement de la superficie en pâture d'une part, et à la déforestation d'autre part, observées entre 1961 et 2000, se sont poursuivies, quoiqu'à un rythme moins soutenu. Les pâtures sont en hausse de 245 millions d'hectares, en grande partie au détriment des surfaces qualifiées de « autres »[71] En Afrique subsaharienne et en Asie, les surfaces en herbe ont progressé respectivement de 380 et 170 millions d'hectares en grande partie sur des espaces anciennement forestiers. Ce sont les phénomènes inverses qui ont prévalu en Ex-URSS et en OCDE, qui ont remplacé respectivement environ 147 et 144 millions d'hectares pâturés essentiellement par de la forêt dans ce scénario. En Amérique latine, la déforestation a été stoppée. Au bilan, dans Agrimonde GO, la somme des surfaces en pâtures et en cultures a augmenté de 12 % en 2050 par rapport à 2000.

Dans le scénario Agrimonde 1, les surfaces cultivées mondiales ont progressé de 39 % entre 2000 et 2050, et atteignent 2,1 milliards d'hectares en 2050, soit 15 % des surfaces en terre de la planète. Avec une moyenne de 12 millions d'hectares nouvellement cultivés par an, le rythme de mise en culture a triplé entre 2000 et 2050 par rapport à celui observé entre 1961 et 2000.

La conquête de nouveaux espaces cultivés a essentiellement concerné l'Amérique latine et l'Afrique subsaharienne qui ont converti 148 et 147 millions d'hectares respectivement, suivies par l'Ex-URSS et l'Asie qui ont converti 107 et 106 millions d'hectares respectivement. La participation de la région OCDE à ce phénomène a été plus limitée (76 millions d'hectares mis en culture) tandis que la surface cultivée de l'Afrique du Nord - Moyen-Orient a très peu augmenté (Tableaux 6.1 et 6.2).

Dans le scénario Agrimonde 1, la préservation de la forêt est un objectif fort. Les pâtures sont donc devenues la variable d'ajustement. Elles ont perdu 494 millions d'hectares (soit 15 % de leur superficie) alors que les forêts n'ont régressé que de 47 millions d'hectares (soit 1,2 % de leur superficie). La diminution des surfaces pâturées a été particulièrement notable dans la région OCDE (- 176 millions d'hectares) où elles ont régressé d'un quart au profit des cultures énergétiques ainsi qu'en Amérique latine et en Afrique subsaharienne (- 110 et - 91 millions d'hectares respectivement). Parallèlement, dans Agrimonde 1 les efforts de conservation de la forêt ont été efficaces en Afrique du Nord - Moyen-Orient et en Ex-URSS, ces régions ont réussi à conserver la totalité de leurs espaces forestiers, la première par volonté de préserver ses ressources hydriques et la deuxième parce qu'elle a su orienter l'extension de ses terres productives vers les terres dégelées du pergélisol. Dans la région OCDE, le phénomène de reforestation observé entre 1990 et 2003 s'est accentué jusqu'en 2050. C'est donc dans les trois régions restantes, Afrique subsaharienne, Amérique latine et Asie, que s'est concentrée la perte de surfaces forestières. En 2050, elles ont perdu respectivement 9 %, 4 % et 10 % de leur surface forestière de 2000.

71. La catégorie « Autres » correspond aux terres émergées autres que celles en culture, pâture ou forêt.

Le taux annuel de déforestation a légèrement augmenté en Asie, passant de 0,14 % par an entre 1961 et 2000 à 0,22 % par an entre 2000 et 2050 ; il a en revanche bien ralenti dans les deux autres régions (passant de 0,24 % par an à 0,08 % par an en Amérique latine et de 0,26 % par an à 0,19 % par an en Afrique subsaharienne).

Les périmètres irrigués ont été maintenus dans toutes les régions sauf en Afrique subsaharienne où ils ont doublé (+ 7 millions d'hectares) et en Asie où ils ont gagné 6 % (+ 9 millions d'hectares).

En résumé, la somme des surfaces en cultures et pâtures a augmenté de 2 % en 2050 par rapport à 2000 dans le scénario Agrimonde 1. Pour ce qui est des surfaces cultivées, en 2050, l'Amérique latine et l'Afrique subsaharienne sont loin d'avoir exploité tout leur potentiel cultivable et peuvent se permettre de n'exploiter que des terres à haut potentiel de rendement, leur surface cultivée n'atteint que 90 % et 80 %, respectivement, des terres au potentiel de rendement supérieur à 80 % du rendement maximal (VS). La région OCDE cultive 89 % de la surface au potentiel de rendement supérieur à 60 % du rendement maximal (VS + S) et l'Ex-URSS 75 % de la surface au potentiel de rendement supérieur à 40 % du rendement maximal (VS + S + MS). En revanche, dans ce scénario, l'Asie et l'Afrique du Nord - Moyen-Orient sont contraintes de cultiver des terres marginales, soit respectivement au minimum 34 et 4 millions d'hectares au potentiel de rendement inférieur à 20 % du rendement maximal (VS + S + MS + mS + NS).

7 - Quels rendements des cultures alimentaires en 2050 ?

Tévécia Ronzon

Les ressources alimentaires de chaque région, dans les scénarios Agrimonde, sont quantifiées sur la base d'hypothèses sur l'occupation des sols, les rendements des cultures alimentaires et la conversion de calories végétales en calories animales. Dans ce chapitre, sont exposées les hypothèses quantitatives relatives aux rendements des cultures alimentaires. Après avoir expliqué les principes de quantification retenus, nous présentons les hypothèses de rendement pour chaque région et par agrégation au niveau mondial à l'horizon 2050.

Les données de référence sont celles de la rétrospective de l'économie alimentaire mondiale de 1961 à 2003 (chapitre 3).

Les principes retenus pour construire les hypothèses de rendements des cultures alimentaires

Comme dans la construction des hypothèses de surfaces, l'approche que nous avons retenue dans la formulation des hypothèses de rendement diffère sensiblement de celle du *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA). Dans les scénarios Agrimonde, on ne cherche pas *a priori* à équilibrer les ressources et les emplois de biomasse, alors que dans le MEA, les rendements sont calculés par le modèle économique d'équilibre IMPACT. Au sein de ce modèle, ils sont fonction des prix mondiaux des « commodités », des prix du travail et du capital, ainsi que des progrès technologiques, eux-mêmes déterminés par l'effort de recherche-développement public et privé, la formation des agriculteurs, le développement des infrastructures et des marchés ainsi que la capacité d'irrigation (Encadré 7.1) (MEA, 2005b).

Le scénario Agrimonde GO reproduit les gains de rendement du scénario *Global Orchestration* du MEA. Il faut cependant souligner que les seules hypothèses de rendement disponibles dans le MEA sont celles relatives aux céréales, distinguées par région. Nous avons alors appliqué le même taux de croissance des rendements à la variable « rendements toutes

cultures alimentaires confondues » même si ces hypothèses deviennent alors très optimistes pour toutes les régions du monde et, en l'occurrence, bien plus élevées que celles retenues dans le scénario Agrimonde 1 et présentées dans ce chapitre (Tableau 7.1).

Encadré 7.1. Les hypothèses de rendement des cultures céréalières dans les scénarios du *Millennium Ecosystem Assessment.*

Global Orchestration

Ce scénario est caractérisé par une forte augmentation des rendements entre 2000 et 2050, dans les pays développés comme dans les pays en développement du fait de forts investissements dans la recherche agricole, de la forte augmentation des surfaces irriguées, des améliorations dans l'efficacité de l'utilisation de l'eau et de l'énergie ainsi que des investissements dans les infrastructures. Les techniques qui ont été développées sont principalement les OGM, des pratiques de cultures plus intensives et un accroissement de l'utilisation des engrais. Pratiquement toutes les exploitations agricoles, petites comme grandes, sont devenues hautement mécanisées et industrielles. Les exploitants pratiquant une agriculture peu intensive, par choix de vie ou sur des terres marginales, ont un faible poids dans la production alimentaire et dans l'économie des pays. Le savoir local est souvent remplacé par des méthodes industrielles uniformes.

TechnoGarden

Les augmentations de rendement ont été plus faibles dans les pays riches, suite à l'expansion de l'agriculture biologique, que dans les pays en développement. Cependant, les investissements dans les biotechnologies et dans d'autres innovations liées aux cultures ont été suffisants pour entraîner un accroissement significatif des rendements. De même, les améliorations dans les productions animales (gain moyen quotidien de poids) ont été faibles dans les pays riches, notamment car des progrès importants avaient déjà été réalisés et car la demande en produits animaux a diminué mais les innovations en reproduction animale ont permis aux pays pauvres d'améliorer sensiblement le poids moyen des animaux.

Order from Strength

Les améliorations des rendements entre 2000 et 2050 ont été très faibles dans tous les pays, les investissements dans l'efficience de l'utilisation de l'eau et de l'énergie en agriculture ayant été insuffisants, tout comme ceux concernant les infrastructures. Les augmentations de rendement ont surtout été obtenues par une intensification et une utilisation croissante d'engrais. Les plus faibles augmentations ont eu lieu en OCDE et en Ex-URSS alors que les pays en développement ont connu des progressions plus fortes. Le recours aux droits de douane dans les pays riches comme dans les pays pauvres a eu pour conséquence de renchérir le coût des technologies agricoles, de sorte que les agriculteurs pauvres n'ont pu acquérir les techniques permettant de maintenir la fertilité des sols et les autres fonctions écosystémiques. Sans ces techniques, la production agricole a pris du retard dans les pays pauvres et est devenue plus vulnérable aux risques naturels

(maladies, ravageurs...). Afin de maintenir leur revenu, les agriculteurs ont agrandi leurs surfaces cultivées notamment sur des terres marginales.

Adapting Mosaic

Les rendements ont augmenté à un rythme moyen au cours des premières années puis le rythme s'est ralenti dans les pays riches à cause de l'adoption à grande échelle de l'agriculture biologique. Les augmentations de rendement ont été plus importantes dans les pays en développement grâce aux mécanismes réussis d'adaptation au changement climatique. Les pays pauvres ont suivi le mouvement, initié en Europe et aux États-Unis, d'une production agricole respectueuse de l'environnement, commercialisant des produits sains. En 2030, les produits biologiques et les denrées « produites naturellement » représentent 34 % du marché en Europe et 21 % aux États-Unis. Les technologies environnementales, développées sur la base des conditions et des besoins locaux, ont permis une amélioration graduelle de la gestion des écosystèmes et des ressources naturelles. La diversification des talents et des expertises s'est poursuivie grâce à une implication plus importante des pays pauvres. Ainsi, le rythme de progrès technologique pour utiliser de façon plus efficace et raisonnable les ressources et réduire la pollution environnementale s'est accéléré.

Source : d'après MEA, 2005b

Concernant le scénario Agrimonde 1, dans le cadre d'un exercice de prospective destiné à alimenter les réflexions sur les orientations de recherche à long terme, nous avons choisi, plutôt que de faire une hypothèse unique en fixant un niveau de rendement pour chaque région, de proposer une fourchette de rendements, pour tester les marges de manœuvre du système associées aux rendements. Ainsi, si l'hypothèse basse ne permet pas d'avoir un niveau de ressources supérieur ou égal au niveau d'emplois des produits agricoles alimentaires au niveau mondial, il est possible de tester la capacité de couverture des besoins permise par l'hypothèse haute et d'en tirer des enseignements en termes d'ampleur du défi adressé à la recherche et à l'innovation.

La construction des hypothèses sur les rendements dans chaque région a reposé sur trois ensembles d'analyse.

1) L'analyse des tendances passées et l'identification de ruptures possibles. L'analyse des courbes régionales de productivité par hectare (Figure 3.9) a permis d'apprécier, dans une certaine mesure, la capacité de chaque région à maintenir, poursuivre ou accélérer son rythme de gain de rendement. Deux critères ont particulièrement guidé cette analyse, et permis d'identifier les ruptures possibles par rapport aux tendances passées. Le premier est la forme de la courbe, qui traduit le fait que la région considérée connaît une phase de progrès techniques si la courbe continue à monter, ou de stagnation si la courbe plafonne. Le second est le niveau de rendement atteint en l'an 2000 qui peut suggérer que les possibilités de gains de rendement n'ont pas encore été pleinement activées lorsque le niveau de rendement de l'an 2000 est particulièrement bas.

Tableau 7.1. Rendements alimentaires et taux de variation annuels : 1961-2000 et 2000-2050 dans les scénarios Agrimonde[1].

Région	Période 1961-2000			Période 2000-2050 – scénarios Agrimonde					
				Agrimonde 1, hypothèse basse		Agrimonde 1, hypothèse haute		Agrimonde GO	
	Rendements alimentaires [2] (kcal/ha/j)		Taux d'accroissement annuel	Rendements alimentaires (kcal/ha/j)	Taux d'accroissement annuel	Rendements alimentaires (kcal/ha/j)	Taux d'accroissement annuel	Rendements alimentaires (kcal/ha/j)	Taux d'accroissement annuel[1]
	1961	2000	1961-2000	2050	2000-2050	2050	2000-2050	2050	2000-2050
Monde	8 607	18 703	2,01	20 027	0,14	30 462	0,98	32 940	1,14
Afrique du Nord - Moyen-Orient	4 921	12 836	2,49	14 500	0,24	17 970	0,68	21 362	1,02
Afrique subsaharienne	5 027	9 460	1,63	11 750	0,44	18 920	1,40	23 133	1,80
Amérique latine	9 041	18 688	1,88	23 500	0,46	37 376	1,40	36 494	1,35
Asie	9 485	25 134	2,53	25 100	0	37 700	0,81	46 416	1,23
Ex-URSS	6 549	7 476	0,34	14 500	1,33	22 428	2,22	12 825	1,09
OCDE	10 742	22 587	1,92	22 600	0	33 880	0,81	33 507	0,79

(1) Les taux d'accroissement annuels affichés dans les figures précédentes pour *Global Orchestration* se réfèrent à la période 1997-2050 (MEA, 2005b). Ils diffèrent donc légèrement de ceux présentés ici pour Agrimonde GO, qui font référence à la période 2000-2050. (2) Entre 1961 et 2003, les surfaces en culture et les surfaces en culture alimentaire sont quasi identiques, les surfaces non alimentaires étant faibles. Les rendements représentent donc, pour 1961 et 2000, la production de calories alimentaires végétales par hectare cultivé et, pour 2050, la production de calories alimentaires végétales par hectare de cultures alimentaires.

2) La mise en cohérence de la fourchette de rendements retenue avec les hypothèses de surfaces du scénario Agrimonde 1, et particulièrement avec le potentiel de rendement des terres cultivées de la région considérée et avec les impacts attendus du réchauffement climatique sur les cultures dans chaque grand écosystème de cette même région.

3) L'analyse des hypothèses de rendement retenues dans les exercices de prospective agricole existants :

- hypothèses des scénarios du MEA à 2050 (MEA, 2005b) ;
- hypothèses d'évolution à 2050 proposées par *l'International Assessment of Agricultural knowledge, Science and Technology for Development* (IAASTD), hypothèse haute correspondant à un effort important d'investissement dans les connaissances pour l'agriculture et le développement et hypothèse basse correspondant à un investissement faible (IAASTD, 2009) ;
- hypothèses du scénario *Révolution doublement verte* (R2V) à 2050 de Michel Griffon (Griffon, 2006) ;
- hypothèses du scénario de référence à 2020 de l'*International Food Policy Research Institute* (IFPRI) (Rosegrant *et al.*, 2001) ;
- hypothèses des scénarios à 2025 issus d'une collaboration entre l'IFPRI et l'*International Water Management Institute* (IMWI), «*Business-As-Usual*» (BAU), «*Water Crisis*» (CRI), «*Sustainable Water Use*» (SUS) (Rosegrant *et al.*, 2002).

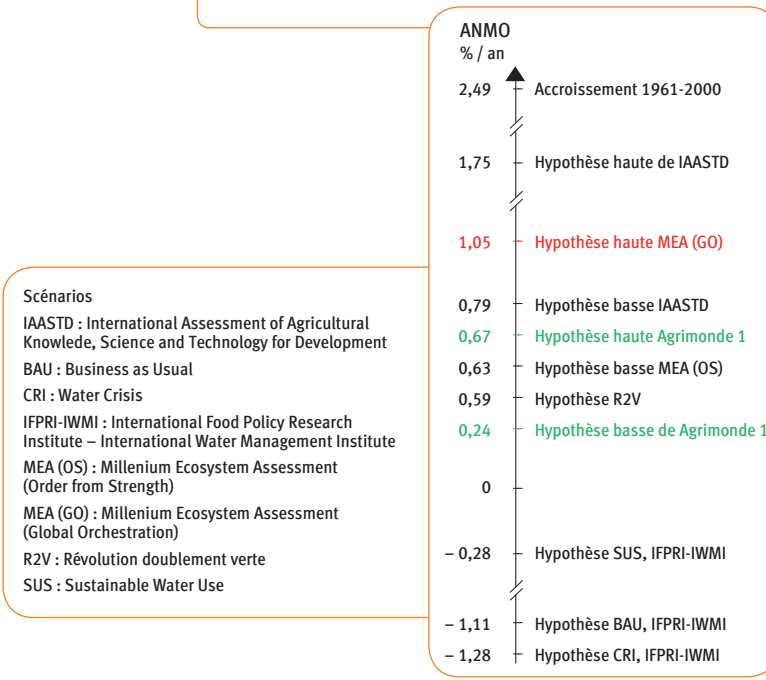
Cette analyse a contribué à la formulation des hypothèses en particulier en identifiant les progressions de rendement associées, dans chacun des exercices, à des modes de production agricoles respectueux de l'environnement et des ressources naturelles[72].

Quels rendements des cultures alimentaires en Afrique du Nord - Moyen-Orient en 2050 ?

Entre 1961 et 2000, d'après les données de la FAO, les rendements des cultures alimentaires en Afrique du Nord - Moyen-Orient ont connu une croissance considérable et continue (+ 2,49 % par an toutes cultures confondues, soit une multiplication par 2,6 en 40 ans) (Figure A2.6). La courbe représentant l'évolution des rendements de cette région ne semble pas rencontrer d'asymptote horizontale, ni même ralentir ces dernières années. Il semble donc que cette région possède encore un potentiel d'accroissement des rendements non négligeable. L'analyse de ces tendances passées pose la question suivante : la région Afrique du Nord - Moyen-Orient est-elle en capacité de poursuivre d'ici 2050 le rythme de croissance des rendements des cultures observé entre 1961 et 2000 ?

72. Rappelons que dans son ouvrage *Nourrir la Planète*, Michel Griffon raisonne sur un rendement moyen en équivalent céréales et que les autres exercices mobilisés présentent uniquement l'évolution des rendements céréaliers. Dans les scénarios Agrimonde, nous avons raisonné sur les rendements toutes cultures confondues exprimés en kcal/ha/j.

Figure 7.1. Afrique du Nord - Moyen-Orient : repères pour la quantification des rendements des cultures en 2050.



Les travaux prospectifs existants s'accordent tous sur un ralentissement des gains de rendement à l'avenir dans cette région mais d'ampleur très variable (Figure 7.1). Alors que le scénario *Révolution doublement verte* de Michel Griffon (Griffon, 2006), les scénarios du MEA (MEA, 2005b) et le scénario de référence de l'IFPRI pour 2020 (Rosegrant *et al.*, 2001) envisagent des gains inférieurs ou proches de 1 % par an (soit + 64 % sur 50 ans), l'hypothèse haute de l'IAASTD se veut beaucoup plus optimiste (+ 1,75 % de gains par an, soit une multiplication par 2,6 des rendements entre 2000 et 2050), misant sur de forts investissements dans la recherche, le développement et la formation agricoles (IAASTD, 2009). Seuls les scénarios de l'IFPRI-IWMI à l'horizon 2025 dans l'étude « *World Water and Food to 2025 : Dealing with Scarcity* », se situent dans une perspective de déclin du niveau de rendement actuel, modéré dans le cas du scénario SUS (- 0,28 % par an entre 1995 et 2025) à fort dans les scénarios BAU et CRI (Figure 7.1, respectivement - 1,28 % et -1,11 % par an entre 1995 et 2025) (Rosegrant *et al.*, 2002). Par ailleurs, des travaux qui se penchent sur le changement climatique, anticipent une baisse des rendements céréaliers du fait de l'aridification attendue dans cette région (voir les résultats des études de Parry *et al.* [2004] et de Cline [2007] Encadré 7.2).

Encadré 7.2 – Les manifestations attendues du changement climatique en Afrique du Nord - Moyen-Orient

En Afrique du Nord - Moyen-Orient, les impacts du changement climatique se manifesteront de manière assez homogène d'ici à 2100 selon des travaux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (IPCC, 2007c).

• Les températures s'élèveront de 3 à 5 °C en moyenne annuelle en 2080-2099 par rapport à 1980-1999, sauf sur les côtes du pourtour méditerranéen où elles ne devraient augmenter que de 3 à 3,5 °C. Ces hausses de température se ressentiront particulièrement en été où elles se situeront entre + 4 et + 5 °C sur tout le Sahara occidental et le Moyen-Orient.

• Le pourtour méditerranéen aura tendance à s'assécher, avec une réduction du volume des précipitations atteignant jusqu'à 30 % en moyenne annuelle et 50 % en été.

• Seuls le Sud de l'Arabie saoudite, le Yémen et Oman connaîtront une hausse des précipitations, pouvant aller jusqu'à 20 % en moyenne annuelle.

Parry *et al.* (2004) calculent un niveau de pertes de rendement dans les pays du Sud de la Méditerranée de 0 à 2,5 % en 2050 par rapport à 1990 dans le scénario du GIEC aux plus faibles émissions de CO_2 (B1) (soit 0 à - 0,04 % par an) et de 2,5 à 5 % (soit - 0,04 à - 0,08 % par an) dans le scénario du GIEC aux plus fortes émissions de CO_2 (A1FI). Les pertes de rendement qu'il calcule seront plus élevées dans les pays de l'Est de la Méditerranée : de - 0,04 à - 0,08 % par an dans B1, et de - 0,08 à - 0,17 % par an dans A1FI. Cette étude est plus optimiste pour la Turquie qui connaîtra des gains de rendement (0 à + 0,04 % par an dans B1 et + 0,04 à + 0,08 % par an pour A1FI).

Cline (2007) chiffre les pertes de production à - 0,26 % par an d'ici 2080 sans fertilisation carbonée, réductibles à - 0,10 % par an grâce à la fertilisation carbonée.

Dans le scénario Agrimonde 1, le stress hydrique, dont on suppose qu'il a été accentué par le réchauffement climatique a été un facteur de stagnation des surfaces cultivées et irriguées. Seulement 7 millions d'hectares supplémentaires ont été mis en culture entre 2000 et 2050 et ce, sur des terres au potentiel de rendement inférieur à 20 % du rendement maximal[73]. Le stress hydrique a aussi été un facteur limitant la productivité de la terre. Ainsi, l'hypothèse de rendements des cultures alimentaires retenue dans ce scénario pour l'Afrique du Nord - Moyen-Orient correspond à une fourchette allant d'un gain de rendement entre 2000 et 2050 de 13 % (soit 0,24 % par an) à 40 % (soit 0,67 % par an). Cela revient à passer d'un niveau de production par hectare et par jour de 12 800 kcal en 2000 à une fourchette de 14 500 à 18 000 kcal en 2050. L'hypothèse basse est à la fois plus prudente que les hypothèses de Michel Griffon (R2V) et du MEA mais moins alarmiste que

73. Selon la typologie établie dans l'étude GAEZ (Fischer *et al.*, 2001, 2000, 2002).

les chiffrages avancés par Parry *et al.* (2004) calculés en fonction des effets du réchauffement climatique attendus dans cette région (Encadré 7.2). La prudence inciterait ainsi à donner plus de crédit à l'hypothèse basse du scénario Agrimonde 1. Elle suppose donc que des stratégies d'adaptation au changement climatique, et au stress hydrique en particulier, ont été mises en place d'ici 2050, ce qui sera discuté plus loin (voir chapitre 9).

Quels rendements des cultures alimentaires en Afrique subsaharienne en 2050 ?

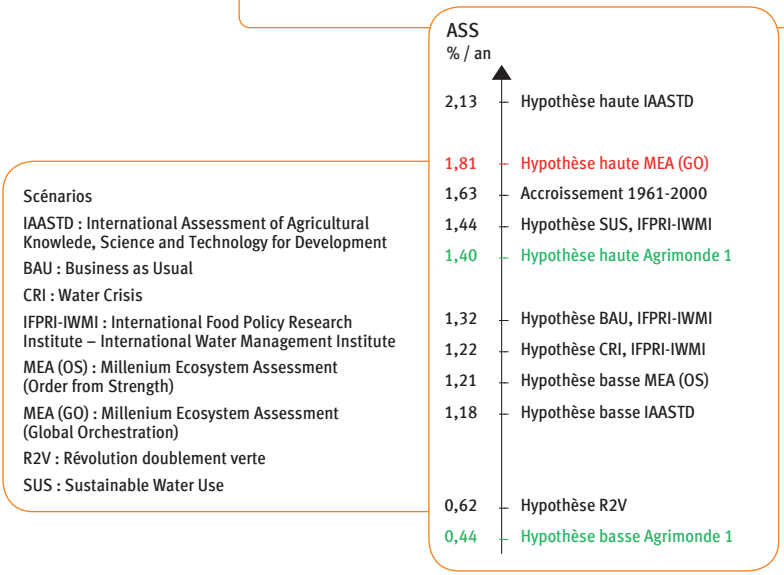
D'APRÈS LES DONNÉES DE LA FAO, DANS LA RÉGION AFRIQUE SUBSAHARIENNE, la productivité de la terre en calories végétales alimentaires a pratiquement doublé entre 1961 et 2000 (5 000 kcal/ha/j en 1961 à 9 500 en 2000, soit un taux de croissance de 1,63 % par an). Malgré un léger ralentissement depuis 2000, la courbe de croissance des rendements de cette région ne semble pas rencontrer d'asymptote horizontale. De plus, en 2000, les rendements des cultures en Afrique subsaharienne sont parmi les plus bas du monde. Les rendements asiatiques, les plus élevés du monde, sont cinq fois supérieurs. L'Afrique subsaharienne possède encore un potentiel d'accroissement des rendements important, mais cette région est-elle en capacité de doubler encore son niveau de rendement des cultures d'ici à 2050 ?

La plupart des scénarios analysés envisage des taux d'accroissement annuels qui permettraient de doubler encore les rendements des productions céréalières d'ici à 2050 (*Adapting Mosaic* et *TechnoGarden* du MEA, BAU de l'IFPRI-IWMI à 2025, et scénario de référence de l'IFPRI à 2020), voire de les multiplier par 2,5 (*Global Orchestration* du MEA) ou par 3 (hypothèse haute de l'IAASTD). Seuls les scénarios R2V de Michel Griffon et les plus pessimistes en termes de croissance économique (*Order from Strength* du MEA), de disponibilités des ressources en eau (CRI de l'IFPRI-IWMI à 2025) ou d'avancées de la recherche et de sa mise en application (hypothèse basse de l'IAASTD) n'envisagent pas de reconduire ce doublement des rendements[74] (Figure 7.2).

Michel Griffon a retenu, pour la région d'Afrique subsaharienne, un scénario dans lequel l'augmentation de la production agricole régionale entre 2000 et 2050 est supportée par l'extension des surfaces agricoles plutôt que par les gains de rendement. Par conséquent, dans son scénario R2V, les rendements n'ont gagné que 0,62 % par an (soit presque 40 % en 50 ans), essentiellement grâce à l'amélioration de la productivité des cultures pluviales (+ 40 % des rendements des cultures pluviales d'ici 2050 contre seulement + 15 % pour les cultures irriguées). Il précise que la réalisation de ces gains de rendement tient beaucoup dans cette région au développement du capital social, des compétences, des infrastructures d'accès au marché et à l'amélioration de la gouvernance.

74. La région Afrique subsaharienne du MEA et d'Agrimonde est plus large que la région Afrique subsaharienne de l'IAASTD. Elle englobe en plus Djibouti, la Mauritanie, Mayotte, la Somalie, le Soudan, la Réunion et Sainte Hélène.

Figure 7.2. Afrique subsaharienne : repères pour la quantification des rendements des cultures en 2050.



Dans le scénario Agrimonde 1, les surfaces cultivées en Afrique subsaharienne ont progressé de 150 millions d'hectares et sont prises sur des terres au potentiel de rendement supérieur à 60 % du rendement maximum[75]. Les surfaces irriguées ont doublé et ont pu contribuer en partie à la croissance des rendements des cultures. Par ailleurs, l'Afrique subsaharienne possède un potentiel de gains de rendement élevé. Partant d'un niveau bas, la reconduction du doublement des rendements (toutes cultures alimentaires confondues) observé entre 1961 et 2000 mènerait la productivité de la terre en calories végétales de cette région à un niveau encore inférieur à celui de l'Amérique latine de 2000. Pourtant, les travaux sur le changement climatique ne sont pas très engageants pour cette région du monde (Encadré 7.3), certains écosystèmes sont d'ores et déjà en crise écologique (les hautes terres notamment) et la courbe de rendement de cette région connaît un ralentissement depuis la fin du XX^{e} siècle. Ces derniers critères plaident en faveur d'une hypothèse de ralentissement des gains de rendement. Par conséquent, l'hypothèse de rendement des cultures alimentaires retenue dans le scénario Agrimonde 1 pour l'Afrique subsaharienne correspond à une fourchette allant d'un gain de rendement de 25 % (0,44 % par an, soit à peu près le même ordre de grandeur que dans le scénario R2V de

75. Selon la typologie établie dans l'étude GAEZ (Fischer *et al.*, 2001, 2000, 2002).

Michel Griffon) à un gain de 100 % d'ici à 2050 (soit 1,40 % par an). Cela revient à passer d'un niveau de production par hectare et par jour de 9 500 kcal en 2000 à un niveau compris entre 11 750 et 18 900 kcal en 2050. La fourchette de rendements retenue suppose qu'un certain nombre de changements et d'adaptations soient intervenus en Afrique subsaharienne d'ici 2050 (voir chapitre 9).

Encadré 7.3 – Les manifestations attendues du changement climatique en Afrique subsaharienne

En Afrique subsaharienne, selon les travaux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), d'ici à 2100, le changement climatique se manifestera de manière différenciée selon les zones considérées (IPCC, 2007c) :

• Le climat de la pointe Sud de l'Afrique tendra à s'aridifier avec des augmentations de température pouvant aller jusqu'à + 4 °C en moyenne annuelle en 2080-2099 par rapport à 1980-1999, et des réductions des pluies estimées entre 5 et 10 % en moyenne annuelle sur la même période et particulièrement centrées sur les mois de juin, juillet et août qui pourront connaître jusqu'à - 50 % des précipitations.

• Sur la côte Est et le pourtour du Golfe de Guinée, le réchauffement des températures se limitera à une augmentation des températures comprise entre 2 et 3 °C en moyenne annuelle en 2080-2099 par rapport à 1980-1999, et s'accompagnera d'un volume des précipitations accru. Les pluies augmenteront entre 0 et 5 % en moyenne annuelle sur la même période dans le Golfe de Guinée et entre 5 et 20 % de l'Est de la Tanzanie à l'Éthiopie, avec des pointes durant le premier trimestre pouvant atteindre jusqu'à + 50 % dans la zone soudano-éthiopienne.

Globalement, les changements climatiques pourraient conduire à une réduction de la période végétative (Van de Steeg, 2009), notamment en Afrique centrale et de l'Est ; les pluies de plus forte intensité pourraient exacerber les problèmes d'érosion (Van de Steeg, 2009) et les rendements des principales céréales alimentaires pourraient décroître sur tout le continent (Challinor *et al.*, 2007 ; Lobell *et al.*, 2008). Les terres arides et semi-arides pourraient s'accroître de 5 à 8 % d'ici 2080. La situation serait la plus critique dans les zones peuplées d'Afrique centrale, de l'Ouest et du Sud (IPCC, 2007b). En revanche, les conditions climatiques pourraient permettre un rallongement de la période végétative sur les hautes terres éthiopiennes (Thornton *et al.*, 2006).

Parry *et al.* (2004) calculent un niveau de pertes de rendement dans l'ensemble de la région de 2,5 % en 2050 par rapport à 1990 dans le scénario du GIEC aux plus faibles émissions de CO_2 (B1), allant jusqu'à 5 % dans le Sud de l'Afrique, la Côte d'Ivoire, le Ghana et le Cameroun, et jusqu'à 10 % au Nigeria. Dans le cas du scénario aux plus fortes émissions de CO_2 (A1FI), les pertes seraient comprises entre 2,5 et 5 % (soit entre - 0,04 et - 0,08 % par an) dans l'ensemble de la région, entre 5 et 10 % (soit entre - 0,08 et - 0,17 % par an) au Nigeria et Guinée Bissau.

Cline (2007) chiffre les pertes de production à - 0,36 % par an d'ici 2080 sans fertilisation carbonée, réductibles à - 0,21 % par an grâce à la fertilisation carbonée.

Quels rendements des cultures alimentaires en Amérique latine en 2050 ?

Entre 1961 et 2000, selon les données de la FAO, les rendements des cultures alimentaires ont doublé en Amérique latine, (passant de 9 000 à 18 700 kcal/ha/j, soit un taux de croissance de 1,88 % par an). Loin de plafonner, l'augmentation des productivités végétales s'est accélérée entre 1992 et 2003 à tel point que les rendements ont gagné presque 50 % durant cette courte période. En 2003, les rendements des productions végétales de cette région atteignaient 23 000 kcal/ha/j et figuraient parmi les plus élevés du monde, à un niveau supérieur à celui de l'OCDE (21 900 kcal/ha/j). L'analyse de ces tendances passées pose la question suivante : l'Amérique latine est-elle en capacité de doubler encore son niveau de rendement des cultures alimentaires entre 2000 et 2050 ?

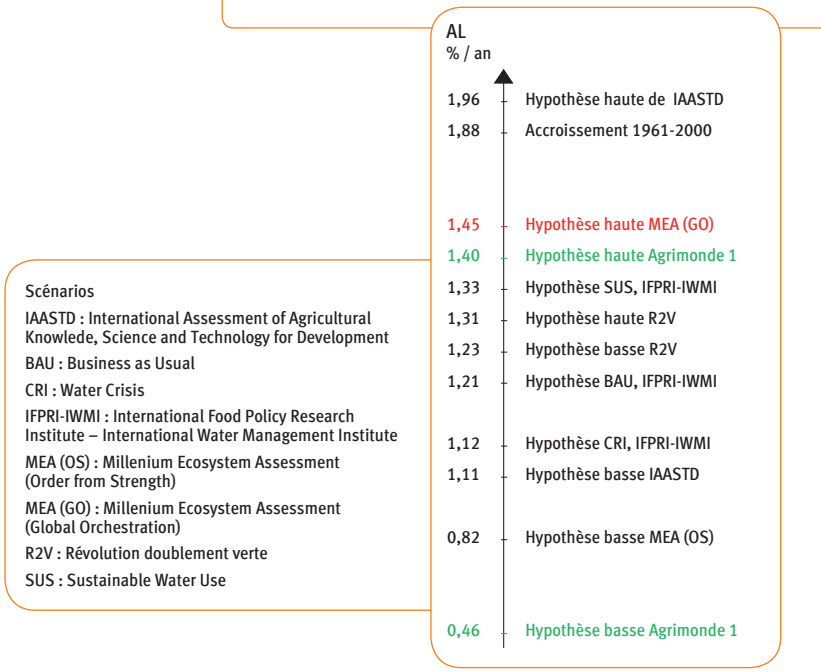
Le large potentiel de gains de rendement céréaliers de l'Amérique latine semble être admis dans les scénarios existants. À part les scénarios de crise (*Order from Strength* du MEA, CRI de l'IFPRI-IWMI à 2025 et hypothèse basse d'IAASTD), tous font l'hypothèse de taux de croissance annuels qui permettraient à peu près de doubler encore les rendements sur 50 ans (+ 1,21 % par an dans le scénario BAU de l'IFPRI-IWMI à 2025 à + 1,50 % par an dans le scénario de référence de l'IFPRI à 2020). L'hypothèse haute d'IAASTD va même au-delà en envisageant un taux de croissance des rendements de 1,96 % par an, soit une multiplication par 2,64 des rendements en 50 ans (Figure 7.3).

Dans le scénario R2V de Michel Griffon, un certain nombre de justifications et de conditions accompagnent l'hypothèse de doublement des rendements : « Pour les exploitations familiales viables, comme pour les moyennes et grandes exploitations des zones tropicales humides et de savane, les investissements à consentir sont faibles par rapport à l'espérance de résultat. Il est donc réaliste de penser que les potentialités productives pourront s'exprimer sans que des politiques agricoles d'appui soient absolument nécessaires. Par contre, le secteur des très petites exploitations et des travailleurs sans terres ne peut utiliser les techniques de l'intensification écologique que si des programmes leur permettent d'accéder à la terre, d'agrandir leur surface et d'avoir accès au crédit et au marché » (Griffon, 2006).

Dans le scénario Agrimonde 1, les surfaces cultivées ont gagné 150 millions d'hectares sur des terres à bon potentiel agricole en Amérique latine, c'est-à-dire au potentiel de rendement supérieur à 80 % du rendement maximum (voir chapitre 6 page 106). En revanche, les surfaces irriguées se sont maintenues et ne peuvent pas expliquer les gains de rendement de cette région. L'analyse des tendances passées plaide en faveur d'une poursuite de l'accroissement des gains de rendement des cultures alimentaires pour la période 2000-2050 en Amérique latine. De plus, les caractéristiques propres à cette région, c'est-à-dire l'espace disponible important, la faible densité démographique, les capacités technologiques et la relative stabilité politique, ne font que conforter cette analyse. Le doublement des rendements n'y paraît pas impossible. Cependant, il

est vrai que l'état des sols constitue actuellement déjà un problème, en particulier dans le *Cerrado* et sur les fronts pionniers forestiers où la mise en place de systèmes de cultures et d'élevages extensifs fait suite à la déforestation sans souci de reproduction de la fertilité des sols. Le réchauffement climatique est susceptible de fragiliser encore les écosystèmes d'Amérique centrale, du Nord-Est du Brésil et des *pampas* (Encadré 7.4) ce qui incite à envisager une hypothèse plus basse de gains de rendement. Par conséquent, l'hypothèse de rendement des cultures alimentaires retenue dans le scénario Agrimonde 1 pour l'Amérique latine correspond à une fourchette allant d'un gain de quasiment 30 % d'ici à 2050 (0,46 % par an) à un doublement des rendements (soit 1,40 % par an, soit le même ordre de grandeur que la plupart des scénarios analysés). Cela revient à passer d'un niveau de production par hectare et par jour de 18 700 kcal en 2000 à un niveau situé entre 23 500 et 37 400 kcal en 2050. La fourchette de rendements retenue dans le scénario Agrimonde 1 demande qu'un certain nombre de changements et d'adaptations aient été mis en place en Amérique latine d'ici 2050 (voir chapitre 9).

Figure 7.3. Amérique latine : repères pour la quantification des rendements des cultures en 2050[1].



(1) Michel Griffon propose une hypothèse haute et une hypothèse basse de rendement pour la région Amérique latine alors qu'il ne propose qu'une seule hypothèse pour les autres régions (Griffon, 2006).

Encadré 7.4 – Les manifestations attendues du changement climatique en Amérique latine

D'ici à 2100, les travaux du GIEC (IPCC, 2007c) projettent en Amérique latine une forte élévation des températures :

• en Amérique centrale, l'augmentation des températures sera accompagnée d'une réduction des précipitations qui sera exacerbée en été (entre + 2,5 et + 4 °C et - 5 à - 15 % des précipitations en moyenne annuelle en 2080-2099 par rapport à 1980-1999, et jusqu'à - 30% des précipitations en été) ;

• sur le bassin amazonien, l'augmentation des températures sera couplée à une très forte hausse des pluies (jusqu'à + 4 °C et entre 0 à + 5 % des précipitations en moyenne annuelle, et jusqu'à + 5 °C les mois de décembre, janvier et février).

Le réchauffement du climat sera plus modéré :

• dans le Nord-Est du Brésil, qui connaîtra en revanche une diminution des pluies importante (+ 2,5 à 3 °C et - 5 à - 50 % des précipitations en moyenne annuelle) ;

• au Sud du continent (Chili et Argentine), où les précipitations baisseront en Patagonie, particulièrement en décembre, janvier et février (+ 1,5 à 3 °C et 0 à - 20 % des précipitations en moyenne annuelle) ;

• dans les zones de *pampas* qui seront plus arrosées (+ 2 à 3 °C et + 5 à + 15 % des précipitations en moyenne annuelle, et jusqu'à + 20 % les mois de décembre, janvier et février) ;

• sur la zone andine qui recevra également plus de pluies (+ 2,5 à 3 °C et + 5 à + 15 % des précipitations en moyenne annuelle, et jusqu'à + 20 % les mois de décembre, janvier et février).

D'ici 2050, la désertification et la salinisation pourraient affecter 50 % des terres de la zone Amérique latine et des Caraïbes (FAO, 2004). Un stress de chaleur accru, associé à des sols plus secs pourrait réduire les rendements d'un tiers dans les zones tropicales et subtropicales où les cultures approchent déjà leur point de tolérance maximum (FAO, 2001), et l'aire de production ainsi que les rendements du café pourraient être réduits suite au réchauffement climatique. De plus, malgré une grande variabilité dans les projections de rendement, les travaux s'accordent sur une baisse des rendements en riz après 2010 et une augmentation des rendements du soja quand les effets du CO_2 sont intégrés.

Selon l'étude de Parry *et al.* (2004), l'impact du changement climatique sur les rendements en 2050 en Amérique latine devrait être relativement homogène. Que ce soit dans le scénario du GIEC aux plus faibles émissions de CO_2 (B1) ou dans celui aux plus fortes émissions de CO_2 (A1FI), les pertes de rendement sont évaluées dans une fourchette de 2,5 à 5 % en 2050 par rapport au niveau de 1990 pour l'ensemble du continent (soit entre - 0,04 et - 0,08 % par an), avec quelques pays plus touchés (entre 5 et 10 %, soit entre - 0,08 et - 0,17 % par an, en Équateur, Guyane, Suriname et Uruguay). Seule l'Argentine devrait connaître une hausse de ses rendements, allant de 0 à 2,5 % dans le scénario B1 et de 5 à 10 % dans le scénario A1FI.

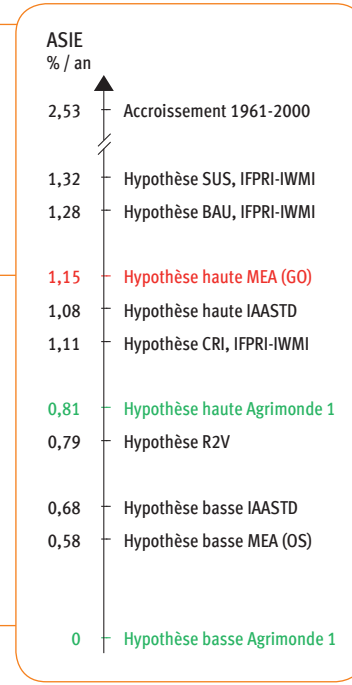
Cline (2007) chiffre les pertes de production à - 0,30 % par an d'ici 2080 sans fertilisation carbonée, réductibles à - 0,15 % par an grâce à la fertilisation carbonée.

Quels rendements des cultures alimentaires en Asie en 2050 ?

Selon les données de la FAO, entre 1961 et 2000, les rendements des cultures alimentaires ont été multipliés par 2,6 en Asie (passant de 9 500 à 25 100 kcal/ha/j). Ils sont aujourd'hui les plus élevés du monde dans le découpage géographique retenu dans Agrimonde. Cependant, la courbe de productivité en calories végétales par hectare semble stagner ces dix dernières années et pourrait avoir atteint un plateau. Les rendements des cultures alimentaires peuvent-ils continuer à augmenter au rythme rapide connu entre 1961 et 2000 ? Ou bien la stagnation engagée depuis le début des années 1990 va-t-elle se poursuivre ?

Parmi les scénarios analysés, aucun ne reconduit les gains de rendement permis par la révolution verte en Asie (Figure 7.4). Au mieux, le scénario SUS de l'IWMI-IFPRI fait l'hypothèse d'une croissance de 1,32 % par an jusqu'en 2025. Ce taux, s'il était reconduit jusqu'à 2050, correspond à un doublement des rendements céréaliers en 50 ans, mais

Figure 7.4. Asie : repères pour la quantification des rendements des cultures en 2050.



Scénarios

IAASTD : International Assessment of Agricultural Knowlede, Science and Technology for Development

BAU : Business as Usual

CRI : Water Crisis

IFPRI-IWMI : International Food Policy Research Institute – International Water Management Institute

MEA (OS) : Millenium Ecosystem Assessment (Order from Strength)

MEA (GO) : Millenium Ecosystem Assessment (Global Orchestration)

R2V : Révolution doublement verte

SUS : Sustainable Water Use

aussi à la moitié seulement du taux de croissance des rendements des cultures (toutes cultures confondues) observé entre 1961 et 2000. Les hypothèses hautes des scénarios du MEA *(Global Orchestration)* et de l'IAASTD sont plus modérées et tournent autour d'une augmentation des rendements céréaliers de 75 % en 50 ans.

Aucun scénario n'envisage cependant un maintien du plateau de rendement observé ces dix dernières années. Même les plus pessimistes (*Order from Strength* du MEA et l'hypothèse basse d'IAASTD) se fondent sur une augmentation de rendement de 35 à 40 % d'ici à 2050 (respectivement 0,58 et 0,68 % par an).

Michel Griffon fait une hypothèse intermédiaire dans son scénario R2V : + 50 % d'ici 2050, soit + 0,79 % par an. Il précise que l'effort productif « devra être réalisé par un très grand nombre de petites exploitations familiales dont une très grande partie sont des ménages pauvres ». Selon lui, « la politique agricole de révolution verte a inclus la plus grande partie de ces exploitations dans une économie de marché, mais la faiblesse de leur capital les rend financièrement très vulnérables. Cette économie est donc très dépendante des prix et des subventions aux engrais et aux produits sanitaires. Un accroissement de productivité ne peut donc s'envisager sans stimulation profonde par des politiques publiques » (Griffon, 2006).

Dans le scénario Agrimonde 1, les terres cultivées en Asie ont gagné une centaine de millions d'hectares entre 2000 et 2050 au prix d'un aménagement permettant de valoriser des terres marginales (environ 70 millions d'hectares sont pris sur des terres au potentiel de rendement inférieur à 40 % du rendement maximal, et le reste sur des terres au potentiel de rendement inférieur à 20 % du rendement maximal, voir chapitre 6 page 109). La faible progression de l'irrigation (environ 10 millions d'hectares entre 2000 et 2050) ne peut justifier à elle seule des gains de rendement. De plus, les régions des deltas de riziculture irriguée – Sud Vietnam, Bangladesh, fleuve Jaune – connaîtront une situation nouvelle, l'élévation du niveau de la mer pouvant entraîner leur salinisation. Les récoltes de ces deltas pourront de plus être compromises du fait de l'augmentation de la fréquence d'événements climatiques violents tels que les cyclones (Encadré 7.5), mais également du fait de la baisse de la capacité de rétention des bassins versants en amont (diminution du couvert végétal et des espaces forestiers des zones montagneuses). Par ailleurs, la révolution verte semble avoir atteint ses limites dans ces régions. À l'inverse, il reste en Asie des zones en agriculture pluviale qui peuvent encore offrir des marges de progression de la productivité, comme par exemple dans les États du Bihar ou du Jharkhand de l'Union indienne. Par conséquent, l'hypothèse de rendement des cultures alimentaires retenue dans le scénario Agrimonde 1 pour l'Asie correspond à une fourchette allant d'un maintien des rendements à une augmentation de 50 % (soit 0,81 % par an, le même ordre de grandeur que dans le scénario R2V de Michel Griffon). Cela revient à maintenir, entre 2000 et 2050, la production par hectare et par jour à 25 100 kcal dans l'hypothèse basse et à la voir progresser de 25 100 à 37 700 kcal dans l'hypothèse haute. Sachant que depuis une dizaine d'années la productivité n'a guère progressé, on ne peut faire l'hypothèse d'un accroissement des rendements, ne serait-ce que de 50 %, sans l'accompagner d'innovations majeures (voir chapitre 9).

Encadré 7.5 – Les manifestations attendues du changement climatique en Asie

L'augmentation de température devrait être très largement supérieure à l'augmentation moyenne mondiale en Chine du Nord, en Mongolie et sur le plateau tibétain (+ 3,5 à + 5 °C en moyenne annuelle en 2080-2099 par rapport à 1980-1999, avec des pointes à + 7 °C les mois de décembre, janvier et février en bordure de l'Ex-URSS). Elle serait couplée à une hausse des précipitations, notamment hivernales (entre + 5 et + 15 % des précipitations en moyenne annuelle, voire jusqu'à + 50 % les mois de décembre, janvier et février) (IPCC, 2007c).

L'élévation des températures devrait être plus modérée sur le reste de la région (+ 2 à + 3,5 °C en moyenne annuelle) où les pluies devraient augmenter dans une fourchette de 0 à 10 % en moyenne annuelle. De façon saisonnière, la péninsule indochinoise pourrait voir son volume de pluies diminuer en hiver (jusqu'à - 20 % sur Myanmar les mois de décembre, janvier et février) (IPCC, 2007c). Les vagues de chaleur en été seront plus longues, plus fréquentes et plus intenses, les périodes froides se réduiront (IPCC, 2007a).

Les pluies extrêmes et les cyclones tropicaux sont annoncés plus nombreux, tandis que la mousson devrait faiblir.

Un certain nombre d'études suggèrent que le réchauffement climatique pourrait entraîner des réductions substantielles de la production céréalière avant la fin de ce siècle. Les rendements pourraient augmenter de 20 % en Asie de l'Est et du Sud-Est mais décroître de 30 % en Asie du Sud (IPCC, 2007b). En particulier, la production rizicole pourrait baisser de 3,8 % d'ici 2100 sous les effets conjugués des stress thermique et hydrique (Murdiyarso, 2000).

D'après l'étude de Parry *et al.* (2004), les rendements céréaliers asiatiques ne devraient pas être très affectés par le changement climatique. Ils varieraient globalement de 0 à + 2,5 % entre 1990 et 2050 (soit entre 0 et + 0,04 % par an) dans le scénario du GIEC aux plus fortes émissions de CO2, (A1FI) et de 0 à - 2,5 % dans le scénario du GIEC aux plus faibles émissions de CO_2, (B1) (soit entre 0 et - 0,04% par an). Les pertes seraient amplifiées en Inde (entre - 2,5 et - 5 % dans les deux scénarios soit entre - 0,04 et - 0,08 % par an) tandis que la péninsule indochinoise connaîtrait des gains allant de + 2,5 à + 5 % (soit entre + 0,04 et + 0,08 % par an).

Cline (2007) chiffre les pertes de production à - 0,23 % par an d'ici 2080 sans fertilisation carbonée, réductibles à - 0,08 % par an grâce à la fertilisation carbonée.

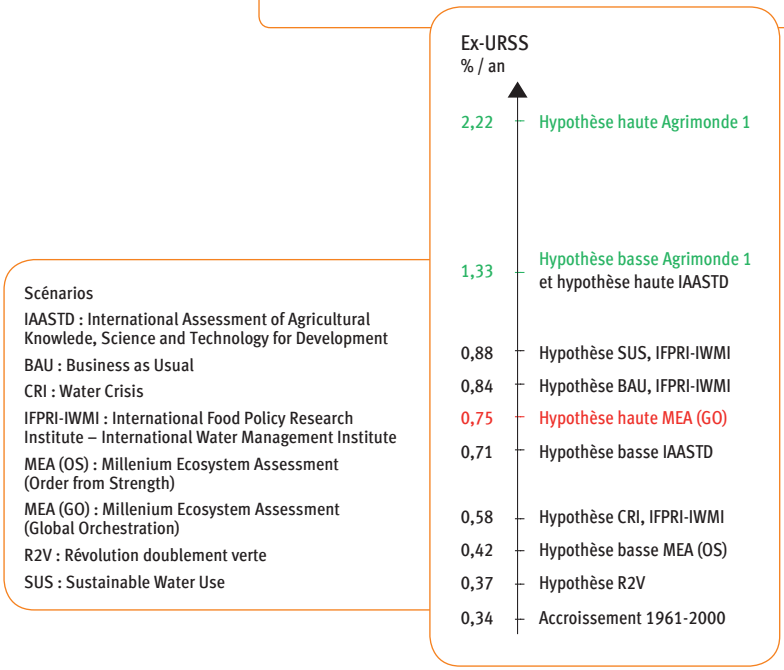
Quels rendements des cultures alimentaires en Ex-URSS en 2050 ?

Selon les données de la FAO, la courbe de productivité de la terre en calories végétales par hectare a globalement progressé de 1961 à 1990 en Ex-URSS, puis a chuté depuis l'ouverture du bloc des pays de l'Est. En 2000, elle n'avait toujours pas retrouvé

son niveau de 1990 (11 000 kcal/ha/j en 1990 contre 7 500 kcal/ha/j en 2000). Il faut cependant rappeler que ces séries sont très chaotiques et leur fiabilité peut être remise en question.

Michel Griffon dans son scénario R2V table sur un accroissement de 30 % des rendements céréaliers dans les plaines de la Communauté des États indépendants (CEI) entre 2000 et 2050. Les scénarios du MEA envisagent une augmentation des rendements céréaliers comprise entre 20 % et 45 % sur la même période. Le scénario de référence de l'IFPRI pour 2020 retient un taux de croissance dans cette fourchette. La comparaison avec les hypothèses de l'IAASTD est malaisée puisque dans le découpage géographique retenu dans ce dernier exercice, l'Ex-URSS fait partie de deux régions : Amérique du Nord-Europe et Asie. Dans ces deux régions, les hypothèses hautes et basses des taux de croissance des rendements céréaliers sont respectivement + 0,71 et + 1,33 % par an en Amérique du Nord-Europe et + 0,68 et + 1,08 % par an en Asie. Quant aux scénarios de l'IFPRI-IWMI à 2025, ils incluent l'Ex-URSS dans l'ensemble plus vaste des « pays développés ». Les taux de croissance retenus sont compris entre + 0,58 % par an pour le scénario CRI et + 0,88 % par an dans le scénario SUS (Figure 7.5).

Figure 7.5. Ex-URSS : repères pour la quantification des rendements des cultures en 2050.



Dans le scénario Agrimonde 1, les surfaces cultivées ont augmenté d'une centaine de millions d'hectares entre 2000 et 2050, en partie sur des terres issues du déplacement des zones pâturées au Nord, sur les terres gagnées par la fonte du pergélisol. Il est probable que ces terres aient un potentiel agricole de niveau moyen (Encadré 7.6). Les surfaces irriguées se sont maintenues et ne peuvent justifier d'augmentation de rendement des cultures. Il peut être jugé réaliste d'envisager que le niveau de rendement des cultures alimentaires de l'Ex-URSS en 2050 se rapproche de celui de l'OCDE en 2000, ce qui supposerait un triplement des rendements. Correspondant à un taux de croissance de 2,26 % par an, cette hypothèse se situe toutefois largement au-dessus de celles retenues dans les différents travaux prospectifs analysés. L'hypothèse de rendement des cultures alimentaires du scénario Agrimonde 1 retenue pour l'Ex-URSS correspond donc à une fourchette allant d'un doublement (+ 1,33 % par an) à un triplement des rendements

Encadré 7.6 – Les manifestations attendues du changement climatique en Ex-URSS

L'élévation de température devrait être très largement supérieure à l'augmentation moyenne mondiale en Ex-URSS, et ce quel que soit le scénario du GIEC retenu.

L'augmentation des températures sera particulièrement importante dans les régions situées au Nord du 60e parallèle (+ 4 à + 5 °C dans la partie Ouest en moyenne annuelle en 2080-2099 par rapport à 1980-1999, et + 4 à + 7 °C dans la partie Est). Elle y sera associée à une hausse des précipitations ou chutes de neige comprises entre 15 et 30 % en moyenne annuelle, selon un gradient croissant d'Ouest en Est. Ces tendances seront exacerbées en hiver, période durant laquelle les hausses de température atteindront + 10°C et les augmentations de précipitation 50 % les mois de décembre, janvier et février (IPCC, 2007c).

Entre le 50e et le 60e parallèle Nord, les élévations de température seront moins fortes, et se situeront entre + 3,5 et + 4 °C dans la partie Ouest de l'Ex-URSS et entre + 4 et + 5 °C dans sa partie Est. Elles seront aussi couplées à des volumes de précipitations jusqu'à + 15 % plus importants en moyenne annuelle en 2080-2099 par rapport à 1980-1999, voire jusqu'à + 20 % en hiver (mois de décembre, janvier et février) (IPCC, 2007c).

Enfin, au Sud du 50e parallèle, soit en Asie centrale, les températures seront de 3,5 à 4 °C plus élevées en moyenne annuelle en 2080-2099 par rapport à 1980-1999 et s'accompagneront de précipitations accrues au Nord de la mer Caspienne (jusqu'à + 10 % de précipitations, et + 15 % en hiver) et de moindres pluies près de la mer Caspienne (jusqu'à - 10 % et pouvant atteindre - 30 % en été) (IPCC, 2007c).

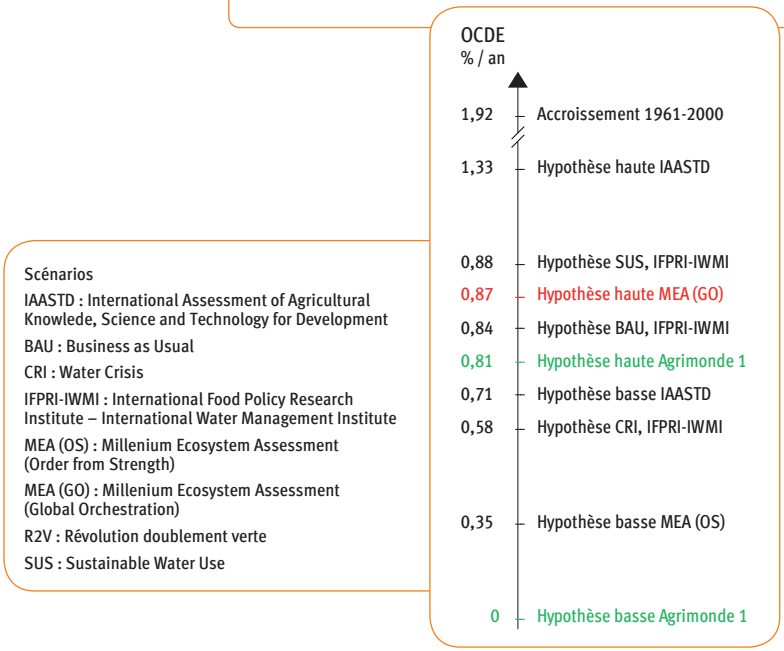
D'après l'étude de Parry *et al.* (2004), les rendements céréaliers de la région Ex-URSS devraient globalement être affectés par le changement climatique. Ils seraient réduits de 5 à 10 % entre 1990 et 2050 (soit entre - 0,08 et - 0,17 % par an) dans les deux scénarios du GIEC A1FI (aux plus fortes émissions de CO_2) et B1 (aux plus faibles émissions de CO_2).

entre 2000 et 2050 (+ 2,22 % par an). Cela revient à passer d'une production par hectare et par jour de 7 500 kcal en 2000 à un niveau compris entre 14 500 et 22 400 kcal en 2050. Les conditions de réalisation d'une telle hypothèse, notamment en termes de besoin en main-d'œuvre seront abordées plus loin (voir chapitre 9).

Quels rendements des cultures alimentaires dans la région OCDE en 2050 ?

Dans la région OCDE, d'après les données de la FAO, la productivité de la terre en calories végétales a été multipliée par 2 entre 1961 et 2000, passant de 10 700 à 22 600 kcal/ha/j (soit une croissance de 1,92 % par an). En 2000, les rendements des cultures alimentaires dans cette région figuraient parmi les plus élevés du monde. Néanmoins, leur progression semble ralentir ces dernières années (Figure 7.6). Les rendements des cultures alimentaires peuvent-ils encore progresser entre 2000 et 2050 au rythme qu'ils ont connu entre 1961 et 2000 ? Ou le ralentissement engagé ces dernières années va-t-il se poursuivre ? Quel rôle le changement climatique va-t-il jouer (Encadré 7.7) ?

Figure 7.6. OCDE : repères pour la quantification des rendements des cultures en 2050.



Encadré 7.7 – Les manifestations attendues du changement climatique dans la région OCDE

Les élévations de température en Amérique du Nord seront particulièrement importantes au Nord du 50e parallèle Nord, où l'on enregistrera des hausses de température allant de + 3,5 à + 7 °C en moyenne annuelle en 2080-2099 par rapport à 1980-1999, couplées à une augmentation du volume de précipitations de 1 à 30 %. Le réchauffement sera plus sensible en hiver où il pourrait atteindre + 10 °C alors qu'il restera dans la fourchette + 3 à + 3,5 °C en été (IPCC, 2007c). Au Sud du 50e parallèle Nord, l'élévation des températures ira globalement de + 3,5 à + 4°C avec un gradient Nord-Sud, mais restera entre + 3 et + 3,5 °C sur les côtes. Les pluies pourraient augmenter jusqu'à 15 % sauf au Sud des États-Unis où elles pourraient connaître une diminution de 30 %. En été la diminution du volume des pluies s'étendra à toute la zone (jusqu'à - 30 % des précipitations les mois de juin, juillet et août) (IPCC, 2007c).

D'après l'étude de Parry *et al.* (2004), les rendements céréaliers des États-Unis pourraient connaître une baisse comprise entre 0 et 2,5 % (soit entre 0 et - 0,04 % par an) et ceux du Canada une hausse de 5 à 10 % (soit entre + 0,08 et + 0,17 % par an) entre 1990 et 2050 dans les deux scénarios du GIEC A1FI (aux plus fortes émissions de CO_2) et B1 (aux plus faibles émissions de CO_2).

En Europe et en moyenne annuelle, le réchauffement climatique se fera sentir à mesure que l'on s'éloigne des côtes. Ainsi, alors que la façade Atlantique devrait connaître une hausse limitée à entre + 2,5 et + 3 °C et la côte méditerranée entre + 3 et + 3,5 °C, les pays plus continentaux d'Europe de l'Est et du Nord subiront des élévations de température comprises entre + 3,5 et + 7 °C. En revanche, durant la période estivale, les augmentations de température se concentreront sur le pourtour méditerranéen (entre + 3,5 et + 4 °C alors que le reste de l'Europe ne devrait pas connaître d'augmentation de température supérieure à + 3,5 °C) (IPCC, 2007c). Les évolutions du volume des pluies se feront selon un découpage Europe du Nord / Europe du Sud, la ligne de découpage correspondant au 50e parallèle Nord. Au Nord de ce parallèle, les pluies augmenteront selon un gradient Nord-Sud entre + 5 et + 20 % en moyenne annuelle. Au Sud de ce parallèle, elles se réduiront de 0 à + 30 %. La ligne de partage remontera jusqu'au 55e parallèle Nord en été et jusqu'au 45e parallèle Nord en hiver (IPCC, 2007c).

D'après l'étude de Parry *et al.* (2004), les rendements céréaliers d'Europe de l'Est pourraient être affectés par le changement climatique, et diminuer de 5 à 10 % entre 1990 et 2050 dans le scénario du GIEC aux plus fortes émissions de CO_2, (A1FI) à entre 10 et 30 % dans le scénario du GIEC aux plus faibles émissions de CO_2, (B1) (soit entre - 0,08 et - 0,17 % par an dans A1FI et entre - 0,17 et - 0,59 % par an dans B1). Ils augmenteraient en revanche en Europe de l'Ouest de 5 à 10 % dans A1FI et de 2,5 à 5 % dans (B1) (soit entre + 0, 08 et + 0,17 % par an dans A1FI et entre + 0,04 et - 0,08 % par an dans B1).

En Australie, le réchauffement climatique serait particulièrement prégnant à l'intérieur de l'île (+ 3 à + 4 °C en moyennes annuelles) par rapport aux côtes (entre + 2 et + 2,5 °C sur la façade de l'océan Indien et entre + 2,5 à + 3,5 °C sur le reste des côtes). Les précipitations augmenteront en moyenne annuelle de 0 à + 5 % dans la partie Nord-Est de l'île, alors qu'elles auront tendance à diminuer de 5 à 20 % dans sa partie Sud-Ouest (IPCC, 2007c). En Nouvelle-Zélande, les températures s'élèveront peu (entre + 1,5 à + 2,5 °C en moyenne annuelle) et les précipitations pourront s'élever jusqu'à 10 % au Nord de l'île (IPCC, 2007c).

D'après l'étude de Parry *et al.* (2004), les rendements céréaliers d'Australie et de Nouvelle-Zélande augmenteraient de + 2,5 à + 5 % entre 1990 et 2050 (soit entre + 0,04 et + 0,08 % par an) dans le scénario du GIEC aux plus faibles émissions de CO_2, (B1) à entre 5 à 10 % (soit entre + 0,08 et + 0,17 % par an) dans le scénario du GIEC aux plus fortes émissions de CO_2, (A1FI).

Cline (2007) chiffre les pertes de production dans les pays développés à - 0,26 % par an d'ici 2080 sans fertilisation carbonée, réductibles à - 0,10 % par an grâce à la fertilisation carbonée.

Parmi les scénarios analysés (Figure 7.6), seule l'hypothèse haute de l'IAASTD envisage encore un doublement des rendements céréaliers d'ici 2050 (soit + 1,33 % par an sur 50 ans), misant sur des investissements accrus dans la recherche, le développement et la formation agronomique. Les autres scénarios semblent plutôt converger vers un gain de rendement de 50 % (entre 0,84 et 0,88 % par an sur 50 ans), voire de 40 % dans le scénario de référence de l'IFPRI à 2020 et l'hypothèse basse de l'IAASTD (+ 0,71 % par an). Enfin, les scénarios de crise envisagent un ralentissement plus drastique de la progression des rendements en OCDE, avec des hypothèses de croissance des rendements de + 0,35 % par an jusqu'en 2050 (soit + 20 %) dans *Order from Strength* du MEA et de + 0,58 % par an jusqu'en 2025 dans le scénario CRI de l'IFPRI-IWMI (soit l'équivalent de + 35% sur 50 ans)[76].

Dans le scénario Agrimonde 1, les terres cultivées ont presque gagné 80 millions d'hectares sur des terres au potentiel de rendement supérieur à 60 % du rendement maximum. Les surfaces irriguées se sont maintenues et ne peuvent donc être considérées comme un facteur de progression des rendements. Par ailleurs, les réserves d'augmentation des rendements des cultures (toutes cultures confondues) en OCDE ne sont pas inexistantes ; les pays d'Europe de l'Est n'ont pas rattrapé en 2000 leur niveau de 1990 et certains pays comme l'Australie et la Nouvelle-Zélande se caractérisent par des systèmes de production encore très extensifs. Enfin, la recherche agronomique peut encore faire progresser les rendements des variétés cultivées dans cette région, que ce soit par

76. Les gains de rendement pour l'OCDE ne sont pas précisés dans le scénario R2V de Michel Griffon. Les scénarios de l'IAASTD, de l'IFPRI-IWMI à 2025 et de l'IFPRI à 2020 ne font pas d'hypothèse sur la région OCDE en tant que telle. L'IAASTD l'inclut dans la région Amérique du Nord-Europe. L'IFPRI-IWMI 2025 et l'IFPRI 2020 l'incluent dans « pays développés ».

la voie de la sélection variétale ou par l'amélioration des pratiques de production. Il ne paraît donc pas irréaliste d'envisager encore une augmentation de 50 % des rendements des cultures alimentaires sur 50 ans, comme le font la plupart des scénarios analysés. Néanmoins, dans un scénario de développement durable, la recherche de qualité des produits sur le plan tant organoleptique et sanitaire qu'environnemental pourrait se traduire par une moindre intensification des systèmes de production. Par conséquent, l'hypothèse de rendement des cultures alimentaires retenue dans le scénario Agrimonde 1 pour la région OCDE correspond à une fourchette allant d'un maintien des rendements à une augmentation de + 50 % des rendements (soit 0,81 % par an, le même ordre de grandeur que dans *Techno Garden* et *Global Orchestration* du MEA, et que les scénarios BAU et SUS de l'IFPRI-IWMI à 2025). Cela revient à maintenir le niveau de production par hectare et par jour à 22 600 kcal entre 2000 et 2050 dans l'hypothèse basse et à enregistrer une progression de 22 600 à 33 900 kcal dans l'hypothèse haute. Les conditions de réalisation d'une telle hypothèse seront présentées (voir chapitre 9).

Quels rendements des cultures alimentaires dans le monde en 2050 ?

D'APRÈS LES DONNÉES DE LA FAO, AU NIVEAU MONDIAL, la production de calories végétales par hectare et par jour a doublé entre 1961 et 2000, passant de 8 600 à 18 700 kcal. Derrière cette évolution moyenne mondiale chaque région a suivi sa dynamique propre et les évolutions régionales reflètent des expressions différenciées de facteurs multiples allant des progrès technologiques (amélioration variétale, intensification en intrants, accroissement des cultures irriguées) à l'organisation du secteur agricole (politiques agricoles, accès à la formation, au crédit, à la terre, etc.), sans oublier le niveau de rendement initial.

Malgré la diversité des trajectoires suivies dans les différentes régions du monde, deux grands groupes de régions semblent se distinguer en 2000 (Figure 3.9) :

- un groupe de régions qui conserve les rendements des cultures alimentaires les plus bas durant toute la période, Afrique subsaharienne, Afrique du Nord - Moyen-Orient, Ex-URSS (de 4 900 à 6 500 kcal/ha/j en 1961 et de 7 500 à 12 800 kcal/ha/j en 2000) ;
- un groupe de régions qui conserve les rendements des cultures alimentaires les plus élevés durant toute la période, Amérique latine, Asie et OCDE (entre 9 000 et 10 700 kcal/ha/j en 1961 et de 18 700 à 25 100 kcal/ha/j en 2000).

De plus, les disparités de rendement n'ont fait que s'accroître ; alors que l'écart entre la région la moins productive et la région la plus productive en 1961 allait du simple au double, il va de 1 à 3,4 en 2000.

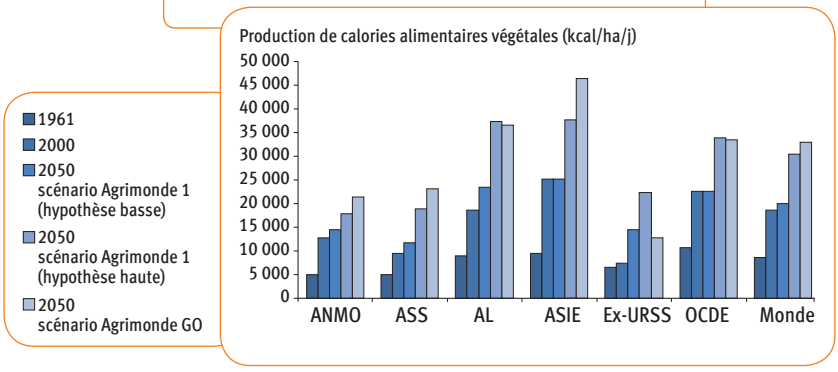
Dans Agrimonde GO, ces deux groupes de régions sont conservés en 2050 et l'Asie, dont le rendement des cultures alimentaires a encore progressé de 85 % entre 2000 et 2050, reste de loin la région la plus productive du monde avec un niveau de rendement

atteignant 46 416 kcal/ha/j en 2050. Même si l'OCDE reste la troisième région la plus productive, ses gains de rendement ont été les plus faibles du monde (+ 48 %). En revanche, l'Afrique subsaharienne est la région qui connaît la progression des rendements la plus spectaculaire (+ 144 %). Ainsi, en 2050, elle atteint, avec l'Afrique du Nord - Moyen-Orient, le niveau de rendement de l'OCDE en 2000. Enfin, avec pourtant 71 % de gain de rendement, l'Ex-URSS reste la région la moins productive du monde. Dans ce scénario, l'écart entre la région la moins productive et la région la plus productive s'accroît légèrement par rapport à 2000, et va de 1 à 3,6 en 2050 (Tableau 7.1 et Figure 7.7).

Dans le scénario Agrimonde 1, peu de réserves de croissance des rendements ont été identifiées pour les régions Asie, OCDE et Afrique du Nord - Moyen-Orient. Elles ont par conséquent connu une faible progression de leurs rendements des cultures alimentaires entre 2000 et 2050 (0 à + 13 % pour la fourchette basse de rendements retenus et + 40 à + 50 % pour la fourchette haute). L'Amérique latine et l'Afrique subsaharienne ont eu plus de facilité à accroître leur niveau de rendement, qui a augmenté de respectivement + 30 et + 25 % dans l'hypothèse basse et de + 100 % dans l'hypothèse haute. Enfin, l'Ex-URSS a opéré un rattrapage spectaculaire en doublant son niveau de rendement des cultures alimentaires dans l'hypothèse basse, et le triplant dans l'hypothèse haute (Tableau 7.1, Figures 7.5 et 7.7).

Malgré tout, les deux groupes de régions différenciés par leurs niveaux de rendement dans le passé montrent peu de modifications entre 2000 et 2050 ; que ce soit dans l'hypothèse haute ou basse, en 2050, l'Asie reste la région la plus productive du monde avec un rendement compris entre 25 100 et 37 700 kcal/ha/j. Enfin, l'écart de rendement entre la région la moins productive et la région la plus productive s'est réduit dans ce scénario. En 2050, il va du simple au double ; les disparités de rendement ont donc retrouvé leur niveau de 1961.

Figure 7.7. Rendements alimentaires en 1961, 2000 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde.



Rendements alimentaires : voir note (2) tableau 7.1, page 126.

Tableau 7.2. Facteurs explicatifs de l'évolution des rendements dans le scénario Agrimonde 1.

Région	Forces motrices dans la progression des rendements	Facteurs limitant la progression des rendements
Afrique du Nord - Moyen-Orient	Rythme très rapide des progrès de rendement sur la période 1961-2003, sans ralentissement perceptible	Mise en culture de terres marginales Accentuation du stress hydrique suite au changement climatique Ralentissement des gains de rendements dans d'autres exercices de prospective par rapport aux tendances passées
Afrique subsaharienne	Niveau de rendement assez bas en 2000 Poursuite des progrès de rendement dans d'autres exercices de prospective Doublement des périmètres irrigués Investissements dans la recherche, la formation et le développement agricole	Aridification suite au changement climatique Déficit antérieur en capital humain et infrastructures d'accès au marché
Amérique latine	Poursuite des progrès de rendement dans d'autres exercices de prospective Investissements passés importants dans la recherche, la formation et le développement agricole	Fragilité des sols de *cerrado* et des sols pris sur le front pionnier forestier Aridification en Amérique centrale et du *cerrado* suite au changement climatique Inégalités d'accès aux facteurs de production
Asie	Rythme très rapide des progrès de rendements sur la période 1961-1990	Mise en culture de terres marginales Stagnation des rendements par hectare depuis le début des années 1990 Ralentissement des progrès de rendement dans d'autres exercices de prospective Impacts du changement climatique : salinisation des deltas de riziculture irriguée, événements climatiques violents plus fréquents et accentuation du stress hydrique en Chine du Nord
Ex-URSS	Niveau de rendement relativement bas en 2000	Rythme faible des progrès de rendement dans d'autres exercices de prospective
OCDE	Rythme très rapide des progrès de rendement sur la période 1961-2000	Stagnation des rendements à l'hectare depuis le début des années 2000 Ralentissement des progrès de rendement dans d'autres exercices de prospective Évolution des objectifs du secteur agricole vers davantage de qualité des produits alimentaires

8 - Les bilans des ressources et des emplois des scénarios Agrimonde

Tristan Le Cotty et Jean-Marc Chaumet

Dans le scénario Agrimonde 1, les hypothèses quantitatives sur la production de ressources dans chaque région et les hypothèses sur les consommations de ressources ont été élaborées indépendamment, en fonction des tendances passées et des facteurs considérés comme moteurs pour le futur par les experts du groupe de travail (Chapitres 5, 6 et 7). Pour obtenir les scénarios quantitatifs, il est donc indispensable de vérifier si ces hypothèses sont compatibles entre elles, à quelles conditions d'échange entre régions, et, si nécessaire, d'ajuster les valeurs de certaines hypothèses.

Pour effectuer ce test de cohérence, nous dressons un bilan des ressources et des emplois par région selon le principe utilisé dans l'analyse rétrospective (Chapitres 2 et 3). La spécificité du bilan prospectif est qu'il comporte certaines inconnues qui doivent être déduites du processus d'équilibrage, tout spécialement les quantités de calories végétales utilisées pour les productions animales. Ce processus conduit enfin à expliciter, en cohérence avec la philosophie du scénario considéré, les règles de priorité entre les différentes utilisations possibles des biomasses. Par exemple, lorsqu'une région est déficitaire en calories animales, importera-t-elle plutôt des calories végétales pour nourrir son bétail, ou bien directement les calories animales qui lui manquent ? Depuis quelles régions ? La réalisation de tels bilans prospectifs ne constitue donc pas une simulation des échanges mais un test global de cohérence des hypothèses quantitatives des différentes composantes des scénarios.

Ce chapitre décrit tout d'abord le bilan ressources-emplois de l'année de référence, 2003, puis la manière dont le bilan d'un scénario est équilibré. Ensuite, sont présentés le bilan du scénario Agrimonde 1 et celui du scénario Agrimonde GO.

Le bilan ressources-emplois en 2003

Le bilan ressources-emplois en 2003 illustre la situation mondiale au début du XXIe siècle. Une version synthétique de ce bilan est présentée dans le tableau 8.1, dans lequel tous les usages de biomasses sont regroupés dans la colonne « emplois ». Seules les

Tableau 8.1. Bilan ressources-emplois alimentaires en 2003.

Région	Types de biomasse	Emplois, tous usages (Gkcal/j)	Ressources, productions (Gkcal/j)	Soldes des échanges (Gkcal/j)
Afrique du Nord - Moyen-Orient	Végétaux	1 985	1 262	- 724
	Animaux	153	126	- 28
Afrique subsaharienne	Végétaux	2 191	1 938	- 253
	Animaux	108	93	- 15
Amérique latine	Végétaux	3 109	3 766	+ 657
	Animaux	394	377	- 18
Asie	Végétaux	11 807	11 647	- 160
	Animaux	1 230	1 186	- 44
Ex-URSS	Végétaux	1 580	1 619	+ 40
	Animaux	220	197	- 23
OCDE	Végétaux	8 669	9 109	+ 440
	Animaux	1 437	1 565	+ 127
Monde	Végétaux	29 341	29 341	0
	Animaux	3 544	3 543	0

calories d'origine terrestre sont représentées ici, et sont agrégées en deux catégories, les calories végétales et les calories animales.

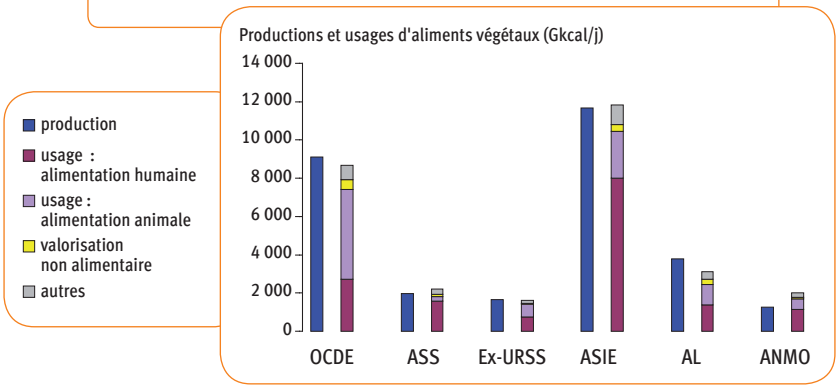
Les emplois incluent les calories disponibles pour la consommation humaine[77], ainsi que les calories utilisées pour l'alimentation des animaux, les semences, les valorisations non alimentaires, ainsi que les pertes[78] (Figure 8.1). Les ressources comprennent les productions régionales et le solde des calories échangées avec les autres régions.

Ce bilan synthétique établi pour l'année 2003 permet de mesurer des déficits ou excédents de calories alimentaires végétales et animales au niveau régional. Selon cette comptabilité, trois régions apparaissent déficitaires en calories végétales et en calories animales :

77. La disponibilité alimentaire apparente est l'équivalent calorique des quantités de biens alimentaires disponibles pour l'alimentation des habitants d'une région, calculée comme ceci : production + importations - exportations +/- variations de stocks - alimentation animale - usages non alimentaires - semences - pertes après récolte (cf. Chapitre 2). Elle inclut les pertes entre la mise à disposition des ménages ou des collectivités et la quantité effective ingérée.

78. Pertes avant mise à disposition de l'usager (cf. Chapitres 2 et 5, Annexe 3 page 261).

Figure 8.1. Production et usages d'aliments végétaux en 2003.



Source : d'après Agribiom, FAO.

la région Afrique du Nord - Moyen-Orient, dans laquelle les importations nettes couvrent 36 % des calories végétales utilisées et 18 % des calories animales utilisées, l'Afrique subsaharienne (12 % des calories végétales et 14 % des calories animales utilisées) et l'Asie (1 % des calories végétales et 4 % des calories animales utilisées). Les importations nettes cumulées de ces trois régions représentent 4 % de la production végétale mondiale et 2 % de la production animale mondiale. Deux régions sont excédentaires en calories végétales et déficitaires en calories animales : l'Amérique latine (les exportations nettes de calories végétales représentent 17 % de la production de la région et les importations nettes de calories animales représentent 5 % de la consommation), et l'Ex-URSS (les exportations nettes de calories végétales représentent 2 % de la production et les importations nettes de calories animales représentent 10 % de la consommation). Seule l'OCDE est excédentaire en calories végétales et animales, les exportations nettes représentent 5 % de la production de calories végétales et 8 % des la production de calories animales.

Le mode d'équilibrage du bilan ressources-emplois dans les scénarios

Dans de nombreux modèles, les réactions des consommateurs et des producteurs aux variations de prix, les élasticités prix, sont considérées comme connues, et les quantités consommées, produites et échangées sont déduites de l'équilibre économique, de même que les niveaux de bien-être économique atteints. Dans le module de simulation Agribiom, les niveaux de consommation, de production et d'échange sont déduits, d'une part, d'une série d'hypothèses débattues et fixées par le groupe de travail de la prospective, et d'autre part, de règles d'équilibrage permettant à la fois de compléter les hypothèses émises et de tester leur cohérence afin, le cas échéant, de procéder à des ajustements.

Les variables fixées par hypothèse et les variables déduites

Pour les ressources de biomasse alimentaire, les variables fixées par hypothèse ont d'abord été les surfaces alimentaires cultivées et les productivités en calories alimentaires de ces surfaces (Chapitres 6 et 7), permettant de calculer les productions régionales de calories alimentaires végétales. Les surfaces de pâtures, qui entrent dans le calcul des ressources alimentaires d'origine animale, ont également fait l'objet d'hypothèses. Toutes les autres variables relatives aux ressources sont déduites du bilan ressources-emplois : calories animales produites et soldes des échanges de calories végétales et animales.

Les variables concernant les emplois de calories alimentaires fixées par hypothèse incluent en premier lieu les calories animales et végétales supposées disponibles pour l'alimentation humaine (en Gkcal/ha/j), obtenues comme le produit de la disponibilité moyenne, au niveau régional, en calories végétales et animales (en kcal/hab./j) par la population de la région. Les autres variables fixées par hypothèse concernent les calories des semences, les calories utilisées à des fins non alimentaires (agrocarburants, etc.), les calories animales utilisées dans la production animale (lait en poudre ou autre), et les calories perdues avant mise à disposition au consommateur. Ces variables sont calculées sur la base d'un pourcentage fixe des calories totales utilisées dans une région donnée. Enfin, la quantité de calories végétales utilisées pour l'alimentation des animaux est déduite des fonctions de production animale lors du processus d'équilibrage et dépend donc des règles choisies.

Les règles d'équilibrage des bilans ressources-emplois

Il existe plusieurs façons de parvenir à un équilibre mondial, notamment selon la quantité de calories végétales utilisées dans chaque région pour la production animale. Nous nous sommes donc donné des règles de priorité entre les différentes utilisations concurrentes des calories disponibles (alimentation humaine, alimentation animale, agrocarburants, etc.), afin de décrire un seul équilibre pour chaque variante de scénario. Dans Agrimonde, ces règles ont essentiellement porté sur la nature (origine animale ou végétale) et la provenance régionale des calories échangées. Ces règles constituent également des hypothèses prospectives, qu'il importe de garder à l'esprit lors de l'interprétation des bilans des scénarios.

Pour illustrer la nécessité de se fixer de telles règles d'équilibrage, on peut imaginer une région dans laquelle la production végétale ne permet pas de couvrir à la fois la consommation humaine de produits végétaux et l'utilisation de végétaux pour produire les produits animaux consommés dans la région considérée. Pour une telle situation déficitaire, il est possible d'équilibrer le bilan de la région en privilégiant soit l'importation de calories végétales qui permettront de produire dans la région les produits animaux nécessaires, soit l'importation directe de calories animales. La transformation des calories végétales en calories animales n'est pas la même dans ces deux cas car les régions ont des systèmes d'élevage spécifiques et n'ont donc pas les mêmes fonctions de production animale.

L'équilibre mondial obtenu n'est alors pas le même selon que les régions s'échangent des calories végétales ou des calories animales. Dans la réalité, les échanges portent évidemment à la fois sur les deux types de produits, mais simuler ces deux cas extrêmes donne une idée de la diversité des modalités d'équilibrage envisageables.

Dans l'exercice Agrimonde, les deux variantes de règles d'équilibrage ont été utilisées, la première fondée en priorité sur des échanges de calories végétales, la seconde sur des échanges de calories animales. Les deux variantes d'équilibrage sont donc deux modes de calcul correspondant à deux modalités possibles des échanges de calories. Elles ne permettent pas de simuler les échanges de 2050 comme s'il y avait des prix d'équilibre ; elles illustrent simplement comment la nature et l'origine des calories échangées peut influencer le bilan. La finalité du calcul des bilans est donc de vérifier si les hypothèses de consommation sont compatibles avec les hypothèses de production sous ces deux variantes, chacune des variantes constituant donc un test de cohérence des scénarios.

La variante 1 représente une priorité aux échanges de calories végétales. Chaque région produit les calories animales correspondant exactement à ses besoins. Elle dispose pour cela d'une technologie régionale spécifique en matière de production animale, d'une surface de pâtures, et d'une certaine quantité de calories végétales (grains, etc.) pour l'alimentation des animaux, quantité produite régionalement et, si besoin, importée. Les fonctions de production animale permettent de calculer dans chaque région la quantité de calories végétales nécessaire à l'alimentation des animaux pour atteindre le niveau de production animale correspondant aux besoins régionaux (Annexe 5 page 270). L'ensemble des emplois de calories végétales de la région inclut donc les emplois nécessaires à la couverture des besoins régionaux de calories animales. Le solde des échanges de la région, exprimé en calories végétales, est obtenu par différence entre la production végétale de la région et l'ensemble des emplois de la région. À l'échelle mondiale, si la somme de ces soldes régionaux est positive, les ressources globales sont supérieures aux ressources nécessaires pour satisfaire les hypothèses de consommation ; si elle est négative, elles sont insuffisantes, ce qui amène à ajuster les hypothèses sur les emplois et/ou sur les ressources.

La variante 2 traduit une priorité aux échanges de produits animaux. Chaque région utilise ses productions végétales en priorité pour l'alimentation humaine, les utilisations non alimentaires, les semences, et subit un taux de perte après récolte. S'il lui reste des calories végétales, elle les utilise pour l'alimentation des animaux. La quantité de calories animales produites est donnée par les fonctions de production animale. Le solde régional des échanges est alors la différence entre la production de calories animales, calculée sur la base des fonctions de production animale, et les utilisations régionales totales de calories animales. Une région peut se trouver en situation de devoir importer non seulement des calories animales mais également des calories végétales lorsque sa production végétale ne couvre pas ses besoins régionaux en végétaux pour l'alimentation humaine. Dans ce cas, le scénario doit aussi comprendre des règles précisant quelles régions exportent des végétaux et dans quelle proportion (Annexe 5 page 270).

Tableau 8.2. Ressources et emplois en 2003 et principales hypothèses[1] du scénario Agrimonde GO en 2050.

Région	Population (Mhab)		Disponibilités totales (kcal/hab./j)		Surfaces cultivées[2] (Mha)		Pâtures[2] (Mha)		Rendements (kcal/ha/j)	
	2003	2050	2003	2050	2003	2050	2003	2050	2003	2050
Afrique du Nord - Moyen-Orient	372	632	3 340	3 457	84	93	328	320	15 010	21 362
Afrique subsaharienne	706	1 662	2 353	2 972	202	303	784	1 161	9 582	23 133
Amérique latine	538	774	3 125	3 698	164	266	553	548	22 979	36 493
Asie	3 322	4 427	2 762	3 702	461	504	565	735	25 251	46 416
Ex-URSS	279	239	3 250	3 457	202	223	360	212	8 026	12 825
OCDE	987	1 066	3 908	4 099	416	467	736	608	21 904	33 507

(1) Les hypothèses et résultats quantitatifs sont rassemblés en annexe 5 page 265, ainsi que les valeurs des variables correspondantes observées en 1961 et 2003.
(2) Les surfaces du scénario Agrimonde GO sont les surfaces du scénario *Global Orchestration* du MEA, corrigées pour tenir compte des différences de définition de l'usage des sols selon la FAO et selon le MEA (Chapitre 6, Annexe 4 page 263)

Ainsi, la variante 1 aboutit à des soldes régionaux en une seule unité (les calories végétales) qui prennent en compte à la fois l'alimentation humaine et l'alimentation des animaux de chaque région. La variante 2, quant à elle, présente des soldes des échanges en deux unités : le solde des calories végétales et le solde des calories animales, ces deux types de calories étant destinés à l'alimentation humaine.

Le bilan mondial ressources-emplois du scénario Agrimonde GO

Rappel des hypothèses du scénario Agrimonde GO

Le scénario Agrimonde GO est inspiré du scénario *Global Orchestration* du *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA) (MEA, 2005b). Il reprend la plupart des hypothèses quantitatives proposées par le MEA pour ce scénario. Toutefois, le mode d'équilibrage ressources-emplois appliqué pour Agrimonde GO est celui conçu dans le cadre d'Agribiom. Ce scénario représente une évolution relativement tendancielle des emplois et des ressources de chaque région, prolongeant une croissance soutenue des rendements et de la consommation dans la plupart des régions du monde jusqu'en 2050. Les principales hypothèses de ce scénario sont reprises dans le tableau 8.2.

L'hypothèse de population n'est pas celle retenue par le MEA ; elle correspond à l'hypothèse médiane de population en 2050 de l'Organisation des Nations unies (ONU), qui a également été appliquée au scénario Agrimonde 1 (Chapitre 5). Les disponibilités alimentaires totales par région, qui traduisent les consommations alimentaires de la région, sont dans la continuité de la croissance observée entre 1961 et 2003. Elles sont adaptées du scénario *Global Orchestration* du MEA dont les hypothèses pour les consommations alimentaires ne concernaient que les céréales et la viande (ruminants et monogastriques). Les hypothèses sur les disponibilités pour l'alimentation humaine dans Agrimonde GO ont donc été calculées en appliquant le taux de croissance envisagé dans *Global Orchestration* pour la consommation de céréales à l'ensemble de la consommation humaine de calories végétales. De même, en appliquant le taux de croissance de la consommation de viande de *Global Orchestration* au total des calories animales, ont été obtenues les hypothèses de disponibilités en calories animales (viande de monogastrique et de ruminant mais aussi œufs et produits laitiers) du scénario Agrimonde GO (Annexe 3 page 261).

Les hypothèses sur les surfaces (cultivées et pâturées) se fondent sur une croissance modérée, assez proche de la tendance passée. Elles reprennent les hypothèses de *Global Orchestration,* légèrement modifiées pour corriger l'écart de surface totale qui existe entre les données du MEA et celles de la FAO, et pour tenir compte de pays écartés dans Agribiom (Annexe 4 page 263). Les hypothèses de rendements correspondent au maintien de la croissance passée, reposant sur un progrès technologique rapide. Dans les scénarios du MEA, les hypothèses sur les rendements concernent les seules céréales.

Les hypothèses de rendements en calories végétales pour le scénario Agrimonde GO ont donc été obtenues en appliquant à l'ensemble des productions végétales le taux de croissance des rendements en céréales dans le scénario *Global Orchestration*. Les rendements des productions végétales de la région Afrique du Nord - Moyen-Orient en 2050 sont en effet multipliés par 1,66 par rapport à 2000 et par 2,5 en Afrique subsaharienne. Enfin, les pertes entre la production et la mise à disposition du consommateur, les valorisations autres qu'alimentaires et les semences ont été supposées, en proportion des usages totaux, identiques en 2003 et en 2050.

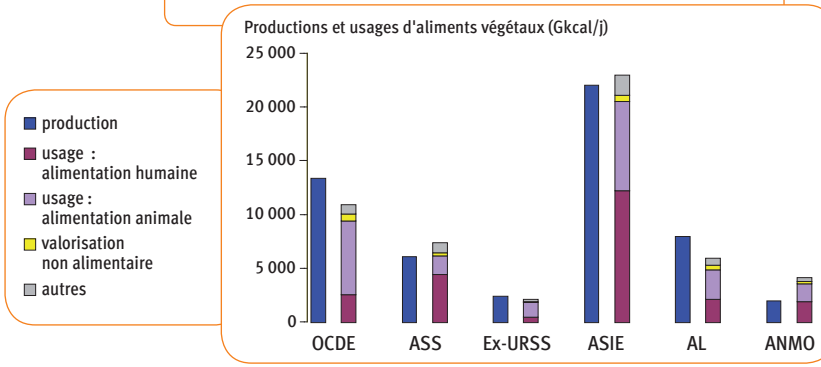
Le bilan ressources-emplois du scénario Agrimonde GO selon la variante 1

Le bilan du scénario Agrimonde GO, synthétisé dans le tableau 8.3 et la figure 8.2, donne une vision globale des hypothèses régionales faites pour les différentes variables. La première conclusion est que les ressources de biomasse couvrent les utilisations au niveau mondial, ce qui tend à confirmer la cohérence en termes de couverture des besoins par les ressources alimentaires du scénario *Global Orchestration* du MEA.

Dans la première variante de simulation, par construction, les soldes des ressources et emplois de calories animales sont nuls dans toutes les régions puisque chaque région produit la biomasse animale correspondant à ses besoins, soit en utilisant ses productions végétales, soit en important des calories végétales destinées à l'alimentation animale. Les soldes portent donc uniquement sur les calories végétales et incluent les besoins d'importation pour couvrir tous les besoins, qu'ils soient humains ou animaux.

Les hypothèses régionales et le mode d'équilibrage retenu résultent en une accentuation des déficits ou excédents nets régionaux par rapport à 2003. Ainsi, les trois régions déjà

Figure 8.2. Production et usages alimentaires végétaux en 2050, scénario Agrimonde GO, variante 1.



Source : d'après Agribiom, FAO, MEA, Agrimonde.

Tableau 8.3. Bilan ressources-emplois alimentaires en 2050, scénario Agrimonde GO, variante 1.

Région	Type de biomasse	Emplois tous usages (Gkcal/j)	Ressources productions (Gkcal/j)	Soldes des échanges (Gkcal/j)
Afrique du Nord - Moyen-Orient	Végétaux	4 176	1 985	- 2 190
	Animaux	335	335	0
Afrique subsaharienne	Végétaux	7 378	6 084	- 1 294
	Animaux	528	528	0
Amérique latine	Végétaux	5 930	7 992	+ 2 062
	Animaux	835	834	0
Asie	Végétaux	23 009	22 094	- 915
	Animaux	4 188	4 189	0
Ex-URSS	Végétaux	2 118	2 398	+ 280
	Animaux	363	363	0
OCDE	Végétaux	10 939	13 436	+ 2 497
	Animaux	2 159	2 158	0
Monde	Végétaux	53 551	53 990	+ 440
	Animaux	8 408	8 407	0

déficitaires en 2003 accroissent leur déficit en 2050, avec par ordre d'importance décroissante du déficit, l'Afrique du Nord - Moyen-Orient, l'Afrique subsaharienne puis l'Asie. En Afrique du Nord - Moyen-Orient, les productions végétales ne suffisent pas à couvrir les besoins de l'alimentation humaine seule (ce qui n'apparaît pas dans le tableau 8.3 qui agrège les usages). Trois régions disposent de surplus et sont, par ordre d'importance croissante, l'Ex-URSS, l'Amérique latine, l'OCDE.

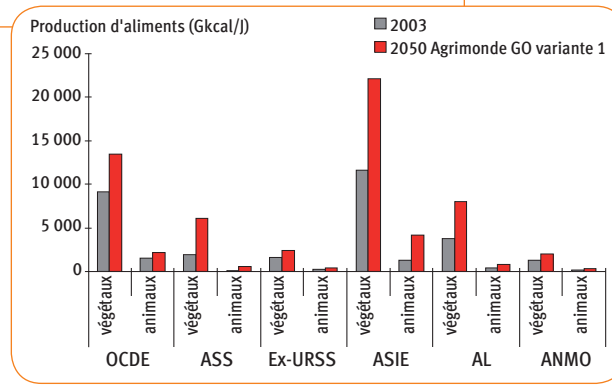
Dans ce scénario, entre 2003 et 2050, la production végétale s'accroît de 84 % et la production animale de 137 %. La croissance touche toutes les régions et tous les produits (Figure 8.3), tous les usages (Figure 8.4), et les disparités géographiques dans les usages de calories par personne sont maintenues (Figure 8.5). Enfin, la figure 8.6 montre l'accroissement continu de la consommation moyenne mondiale de calories végétales et animales par personne dans le scénario Agrimonde GO.

Le bilan ressources-emplois du scénario Agrimonde GO selon la variante 2

Dans la variante 2, le solde commercial net comporte les calories végétales correspondant à la couverture des besoins humains en calories végétales et des calories animales

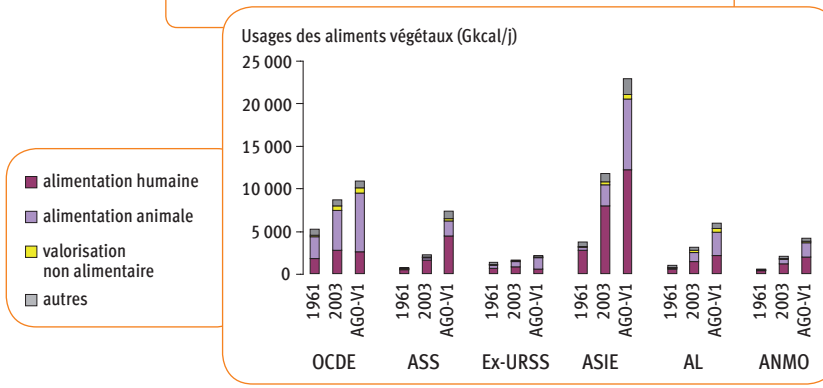
pour la couverture des besoins humains en calories animales. Le bilan global reste proche de l'équilibre, et les trois mêmes régions sont déficitaires (Tableau 8.4). Les usages de calories végétales sont en revanche très différents, puisque les régions déficitaires utilisent (et importent) moins de calories végétales, et produisent moins de calories animales, qu'elles importent par contre en plus grande quantité. Comme la transformation des calories végétales en calories animales n'a pas lieu dans les mêmes régions que dans

Figure 8.3. Productions d'aliments en 2003 et 2050, scénario Agrimonde GO, variante 1.



Source : d'après Agribiom, FAO, MEA, Agrimonde.

Figure 8.4. Usages des aliments végétaux en 1961, 2003 et 2050, scénario Agrimonde GO, variante 1.

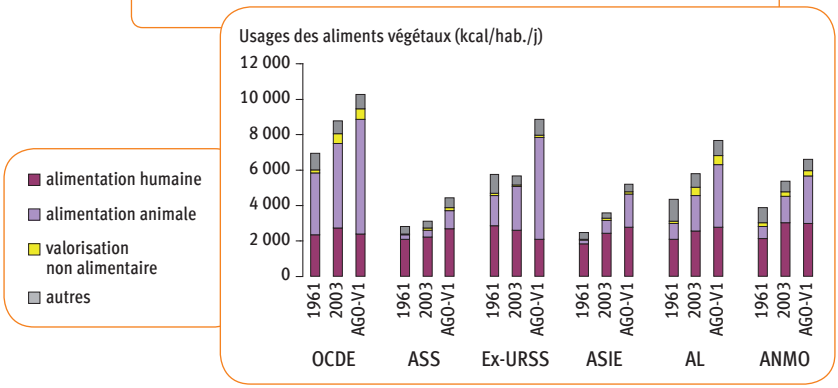


Source : d'après Agribiom, FAO, MEA, Agrimonde.

la variante 1, et comme les modes de production animale sont différents d'une région à l'autre, le solde global est modifié (Figure 8.7).

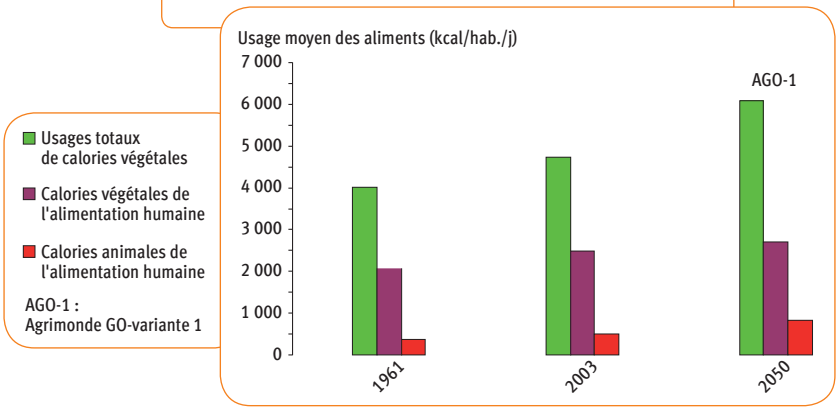
Ici, le surplus global est exprimé en calories animales, mais il peut être comparé au surplus obtenu par la variante 1 en calculant les calories végétales théoriquement nécessaires pour obtenir ce surplus de calories animales. En utilisant par exemple la fonction

Figure 8.5. Usages des aliments végétaux par personne en 1961, 2003 et 2050, scénario Agrimonde GO, variante 1.



Source : d'après Agribiom, FAO, MEA, Agrimonde.

Figure 8.6. Usage moyen des aliments en 1961, 2003 et 2050, scénario Agrimonde GO, variante 1.

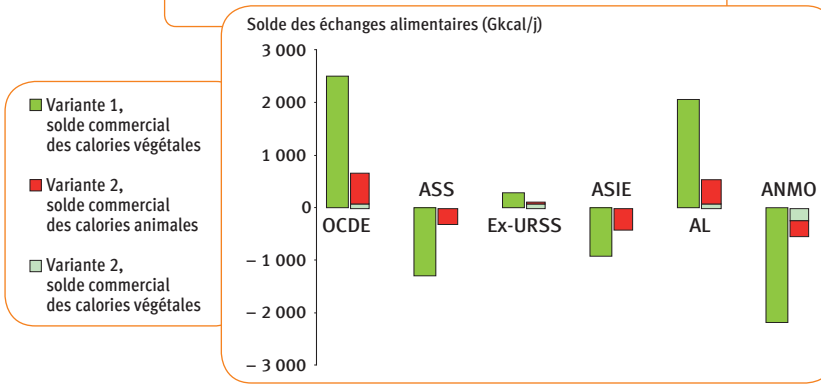


Source : d'après Agribiom, FAO, MEA, Agrimonde.

Tableau 8.4. Bilan ressources-emplois alimentaires en 2050, scénario Agrimonde GO, variante 2.

Région	Type de biomasse	Emplois tous usages (Gkcal/j)	Ressources productions (Gkcal/j)	Soldes des échanges (Gkcal/j)
Afrique du Nord - Moyen-Orient	Végétaux	2 223	1 985	- 238
	Animaux	335	25	- 309
Afrique subsaharienne	Végétaux	6 084	6 084	0
	Animaux	528	219	- 309
Amérique latine	Végétaux	7 913	7 992	+ 79
	Animaux	836	1 301	466
Asie	Végétaux	22 094	22 094	0
	Animaux	4 192	3 780	- 412
Ex-URSS	Végétaux	2 319	2 398	+ 79
	Animaux	363	403	+ 40
OCDE	Végétaux	13 357	13 436	+ 79
	Animaux	2154	2 738	+ 584
Monde	Végétaux	53 990	53 990	0
	Animaux	8 407	8 466	+ 60

Figure 8.7. Solde des échanges alimentaires entre régions, scénario Agrimonde GO, variantes 1 et 2.



Source : d'après Agribiom, FAO, MEA, Agrimonde.

de production de l'OCDE, le solde mondial en calories animales de 60 Gkcal/hab./j correspond à 230 Gkcal/j en calories végétales[79] ce qui est sensiblement inférieur aux 440 Gkcal/j du solde mondial de la variante 1.

La variante 1 apparaît donc plus excédentaire que la variante 2. Cela signifie qu'un même niveau de consommation peut être atteint à partir d'un niveau de production végétale plus faible en fonction du lieu de transformation des calories végétales en calories animales. Dans le scénario Agrimonde GO – qui ne peut pas être généralisé –, le bilan global est davantage excédentaire lorsque les pays déficitaires importent les calories végétales pour l'alimentation des animaux qu'ils élèvent que lorsqu'ils importent directement des calories animales. Ce résultat ne vaut que pour les hypothèses quantitatives choisies et pour les fonctions de production utilisées.

Le bilan mondial ressources-emplois du scénario Agrimonde 1

Rappel des hypothèses du scénario Agrimonde 1

Le scénario Agrimonde 1 repose sur des hypothèses en rupture avec les tendances passées, récapitulées dans le tableau 8.5. Du point de vue des consommations, l'originalité du scénario Agrimonde 1 est d'envisager une disponibilité alimentaire moyenne en calories identique dans toutes les régions, ce qui suppose par rapport à 2003 des augmentations importantes dans certaines régions et des réductions importantes dans d'autres. Au total, l'hypothèse de consommation mondiale est nettement plus faible que dans le scénario Agrimonde GO, et un peu plus élevée qu'en 2003 du seul fait de l'augmentation de la population (la consommation mondiale par habitant étant à peu près la même qu'en 2003).

Du point de vue de la production, le scénario repose sur des hypothèses de croissance des surfaces cultivées plus importantes que le scénario Agrimonde GO. En ce qui concerne les rendements, le groupe de travail avait retenu une fourchette de rendements pour chaque région. Les hypothèses correspondant au bas de la fourchette permettant d'équilibrer le bilan mondial selon la variante 1, nous avons retenu ces hypothèses pour le scénario Agrimonde 1[80]. Les hypothèses de rendements de ce scénario sont beaucoup plus faibles que celles faites dans Agrimonde GO.

79. Ce chiffre correspond à l'alimentation animale nécessaire dans la région OCDE pour produire 60 Gkcal/j de produits animaux.

80. Lors des calculs des bilans ressources-emplois, les hypothèses basses proposées par le groupe de travail de la propspective permettaient d'obtenir un bilan quasi équilibré dans la variante 1. Par conséquent, elles ont été ajustées à la marge pour obtenir un bilan ressources-emplois mondial exactement équilibré dans cette variante. Ainsi, les hypothèses basses présentées dans le chapitre 7 et dans le présent chapitre ne sont pas exactement celles initialement formulées par le groupe de travail ; elles en sont néanmoins très proches.

Tableau 8.5. Emplois et ressources en 2003 et principales hypothèses du scénario Agrimonde 1 en 2050.

Région	Population (Mhab)		Disponibilités totales (kcal/hab./j)		Surfaces cultivées (Mha)		Pâtures (Mha)		Rendements (kcal/ha/j)	
	2003	2050	2003	2050	2003	2050	2003	2050	2003	2050
Afrique du Nord - Moyen-Orient	372	632	3 340	3 000	84	90	328	321	15 010	14 500
Afrique subsaharienne	706	1 662	2 353	3 000	202	339	784	691	9 582	11 750
Amérique latine	538	774	3 125	3 000	164	310	553	445	22 979	23 500
Asie	3 322	4 427	2 762	3 000	461	560	565	512	25 251	25 100
Ex-URSS	279	239	3 250	3 000	202	310	360	300	8 026	14 500
OCDE	987	1 066	3 908	3 000	416	495	736	576	21 904	22 600

Le bilan ressources-emplois du scénario Agrimonde 1 selon la variante 1

Le solde mondial nul montre que les hypothèses de consommation fixées dans le scénario Agrimonde 1 peuvent être satisfaites avec les hypothèses de production envisagées, ainsi qu'avec les règles d'équilibrage retenues dans cette variante (Tableau 8.6).

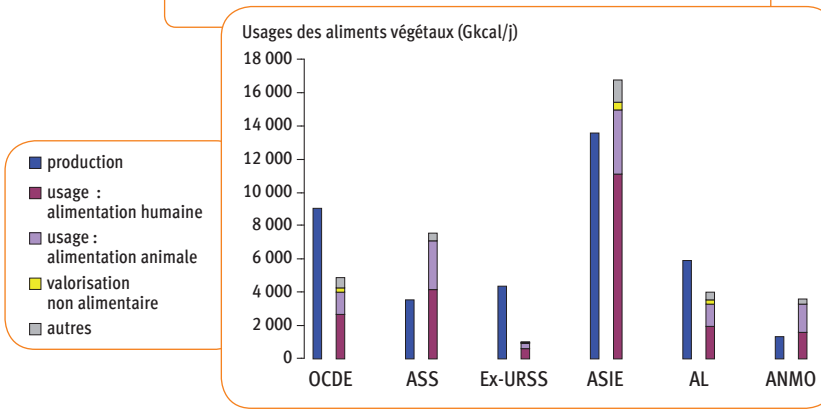
En 2050, la production mondiale de calories végétales dans Agrimonde 1 est en progression de près de 30 % par rapport à 2003 tandis que le monde produit 20 % de plus de calories animales (Figure 8.9). Les régions déficitaires sont, par ordre décroissant, l'Afrique du Nord - Moyen-Orient, l'Asie et l'Afrique subsaharienne. En Afrique subsaharienne et en Afrique du Nord - Moyen-Orient, la production régionale de calories végétales ne suffit pas à satisfaire les besoins de l'alimentation humaine en calories végétales. Une partie des importations de ces régions (16 % et 12 % respectivement) est donc destinée à l'alimentation humaine directe, et le reste des importations est utilisé pour l'alimentation animale. Les ressources en produits végétaux en Asie sont suffisantes pour couvrir les besoins en alimentation humaine directe et une partie de l'alimentation animale.

Tableau 8.6. Bilan ressources-emplois alimentaires en 2050, scénario Agrimonde 1, variante 1.

Région	Type de biomasse	Emplois tous usages (Gkcal/j)	Ressources productions (Gkcal/j)	Soldes des échanges (Gkcal/j)
Afrique du Nord - Moyen-Orient	Végétaux	3 549	1 302	- 2 247
	Animaux	335	335	0
Afrique subsaharienne	Végétaux	7 515	3 525	- 3 990
	Animaux	852	852	0
Amérique latine	Végétaux	3 977	5 875	+ 1 898
	Animaux	431	431	0
Asie	Végétaux	16 732	13 554	- 3 178
	Animaux	1 918	1 918	0
Ex-URSS	Végétaux	1 017	4 350	+ 3 333
	Animaux	106	106	0
OCDE	Végétaux	4 856	9 040	+ 4 184
	Animaux	632	632	0
Monde	Végétaux	37 646	37 646	0
	Animaux	4 274	4 274	0

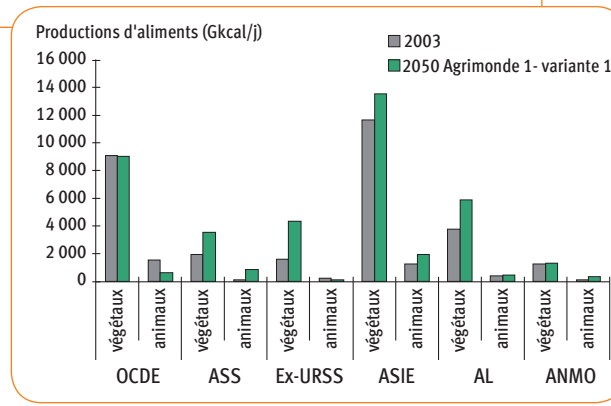
L'Asie doit donc importer pour combler le manque de calories destinées à l'alimentation animale et pour satisfaire la consommation en calories animales. Les régions excédentaires, par ordre décroissant des surplus, sont l'OCDE, l'Ex-URSS et l'Amérique latine.

Figure 8.8. Productions et usages d'aliments végétaux en 2050, scénario Agrimonde 1, variante 1.



Source : d'après Agribiom, FAO, MEA, Agrimonde.

Figure 8.9. Productions d'aliments en 2003 et 2050, scénario Agrimonde 1, variante 1.



Source : d'après Agribiom, FAO, MEA, Agrimonde.

Comme le montre la figure 8.8, dans ce scénario Agrimonde 1, les soldes régionaux entre les productions et les consommations sont relativement importants (plus importants que dans le scénario Agrimonde GO). En effet, l'OCDE et surtout l'ex-URSS voient leur excédent s'accroître en raison d'une baisse sensible de la consommation (par une baisse des quantités de calories ingérées et/ou perdues après mise à disposition du consommateur). À l'inverse, l'Afrique subsaharienne voit son déficit s'accroître en raison d'une forte hausse de la consommation que les capacités de production ne parviennent pas à satisfaire (hypothèses de croissance des rendements beaucoup plus faibles que dans Agrimonde GO). Enfin, l'Asie voit son déficit s'accroître notamment parce qu'on considère, dans ce scénario, une certaine saturation de ses capacités de production, tant en termes de surfaces que de rendements.

Par rapport à 2003, les figures 8.10 et 8.11 montrent aussi que le changement essentiel réside dans la réduction des usages de calories végétales pour l'alimentation du bétail. Ainsi, l'OCDE passe d'un usage total calories végétales de près de 9 000 kcal/hab./j. en 2003 à environ 4 500 en 2050 sans réduire sa consommation alimentaire de calories végétales mais en réduisant sa consommation de calories animales de 700 kcal/hab./j.

Globalement, le scénario Agrimonde 1 dans la variante 1 montre qu'il est possible de maintenir la consommation individuelle moyenne mondiale actuelle tout en utilisant moins de calories végétales par personne (Figure 8.12). Deux conditions suffisantes pour y arriver sont de réduire les pertes à la consommation et de relocaliser partiellement les productions animales dans les régions où le taux de transformation moyen est le plus élevé.

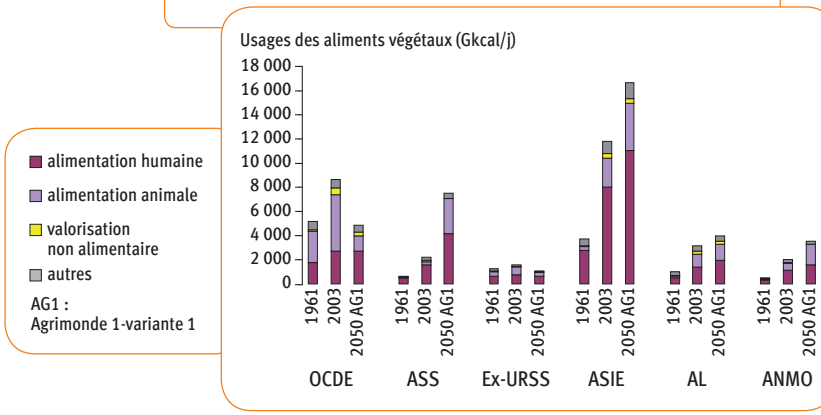
Le bilan ressources-emplois du scénario Agrimonde 1 selon la variante 2

Dans la variante 2, avec les mêmes hypothèses quantitatives, le solde mondial ressources-emplois n'est plus nul mais négatif[81] (Tableau 8.7). Dans cette variante, pour laquelle les régions s'échangent directement des calories animales plutôt que des calories végétales pour l'alimentation animale, on peut donc conclure que les hypothèses d'Agrimonde 1 sur les ressources s'avèrent insuffisamment élevées pour couvrir les emplois envisagés dans ce même scénario.

Comme dans le scénario Agrimonde GO, la variante 2 semble moins économe en calories que la variante 1. Les trois mêmes régions se trouvent déficitaires (Figure 8.13) : Afrique subsaharienne, Asie et Afrique du Nord - Moyen-Orient. Pour que les déficits de ces régions soient comblés par les surplus des régions excédentaires (Amérique latine, Ex-URSS et OCDE), il faudrait accroître la production mondiale de calories animales de 20 % (754 Gkcal/j).

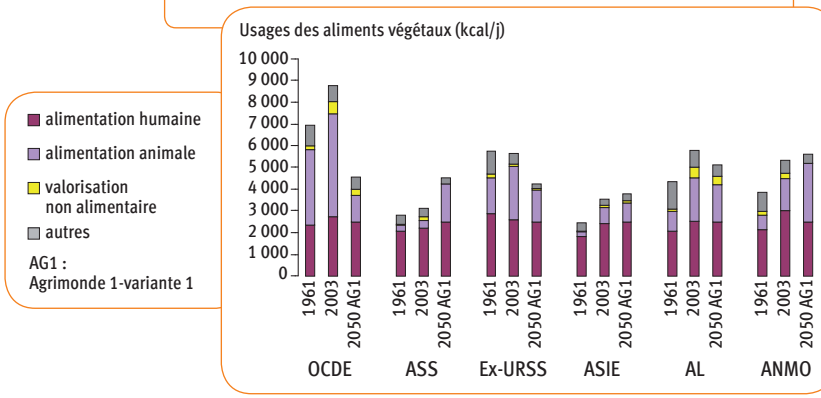
81. Il est possible d'équilibrer le solde mondial en modifiant les hypothèses quantitatives (par exemple les rendements), mais nous avons choisi de travailler à hypothèses quantitatives inchangées et de constater (et interpréter) l'effet du mode d'équilibrage sur le bilan global et les soldes régionaux.

Figure 8.10. Usages d'aliments végétaux en 1961, 2003 et 2050, scénario Agrimonde 1, variante 1.



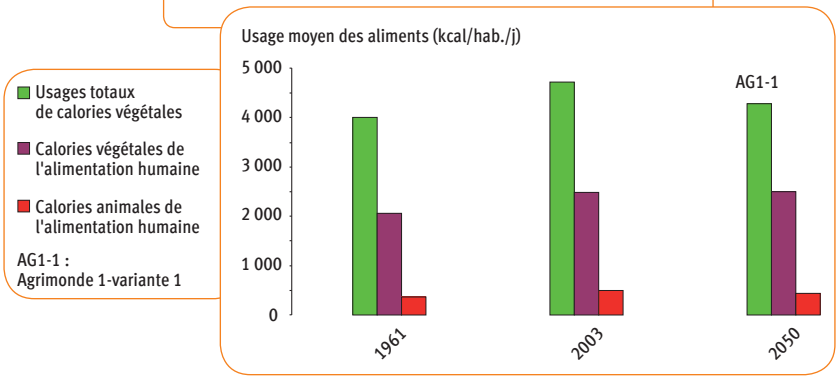
Source : d'après Agribiom, FAO, MEA, Agrimonde.

Figure 8.11. Usages d'aliments végétaux par personne en 1961, 2003 et 2050, scénario Agrimonde 1, variante 1.



Source : d'après Agribiom, FAO, MEA, Agrimonde.

Figure 8.12. Usage moyen d'aliments en 1961, 2003 et 2050, scénario Agrimonde 1, variante 1.

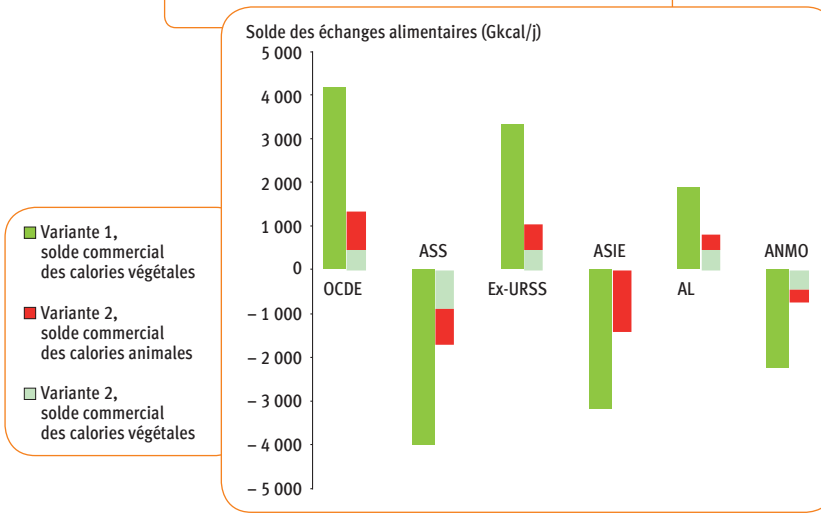


Source : d'après Agribiom, FAO, MEA, Agrimonde.

Tableau 8.7. Bilan ressources-emplois alimentaires en 2050, scénario Agrimonde 1, variante 2.

Région	Type de biomasse	Emplois tous usages (Gkcal/j)	Ressources productions (Gkcal/j)	Soldes des échanges (Gkcal/j)
Afrique du Nord - Moyen-Orient	Végétaux	1 752	1 302	- 450
	Animaux	336	24	- 311
Afrique subsaharienne	Végétaux	4 426	3 525	- 901
	Animaux	851	22	- 829
Amérique latine	Végétaux	5 425	5 875	+ 450
	Animaux	431	777	+ 346
Asie	Végétaux	13 554	13 554	0
	Animaux	1 918	481	-1 437
Ex-URSS	Végétaux	3 900	4 350	+ 450
	Animaux	106	689	+ 584
OCDE	Végétaux	8 590	9 040	+ 450
	Animaux	631	1 525	+ 893
Monde	Végétaux	37 646	37 646	0
	Animaux	4 273	3 519	- 754

Figure 8.13. Solde des échnages alimentaires entre régions, scénario Agrimonde 1.



Source : d'après Agribiom, FAO, MEA, Agrimonde.

Conclusion

La comparaison d'un scénario tendanciel comme Agrimonde GO avec le scénario de rupture Agrimonde 1 (par exemple dans la variante 1 d'équilibrage des bilans), illustre deux évolutions cohérentes – en termes de couverture des emplois par les ressources – et très contrastées de l'agriculture et de l'alimentation. Cette cohérence est établie ici grâce aux bilans ressources-emplois en calories alimentaires. L'équilibrage de ces bilans par deux variantes fournit un premier test de la sensibilité des scénarios aux préférences pour les échanges de calories animales ou de calories végétales.

Le scénario Agrimonde GO est un scénario d'accroissement important de la production par rapport à 2003, d'environ 80 % pour les productions végétales et de 140 % pour les productions animales, avec un accroissement des populations humaines de 42 %. Fondé sur un accroissement notable des rendements y compris dans les régions dans lesquelles la production est déjà intensive, il apporte dans toutes les régions du monde un niveau de disponibilité moyenne supérieur à ce qu'il est aujourd'hui, et conserve les écarts importants de consommation entre régions (Tableau 8.8).

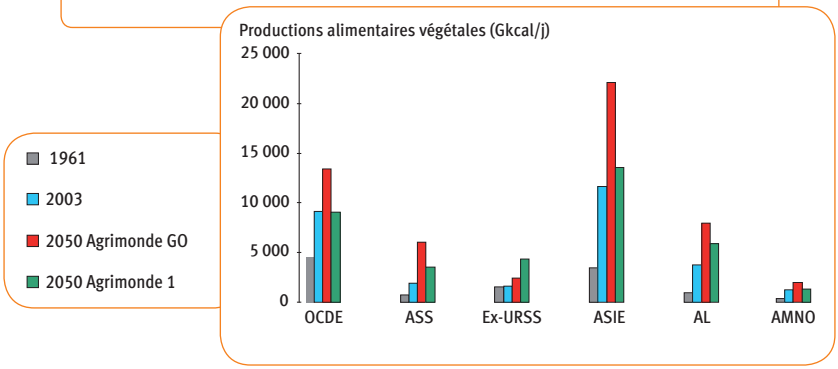
Du point de vue du bilan global, le scénario Agrimonde 1 est un scénario d'accroissement modéré de la production : environ 30 % de productions végétales et 20 % de productions

animales en plus en 2050 par rapport à 2003, l'accroissement de la population mondiale étant la même que dans Agrimonde GO, soit 42 % (Figures 8.14 et 8.15).Malgré cela,

Tableau 8.8. Usages alimentaires en 2003 et 2050, scénarios Agrimonde GO et Agrimonde 1 (Gkcal/j).

Région	Type de biomasse	Emplois 2003 (Gkcal/j)	Emplois 2050 Agrimonde 1-variante 1 (Gkcal/j)	Emplois 2050 Agrimonde Go variante 1 (Gkcal/j)
Afrique du Nord - Moyen-Orient	Végétaux	1 985	3 549	4 176
	Animaux	153	335	335
Afrique subsaharienne	Végétaux	2 191	7 515	7 378
	Animaux	108	852	528
Amérique latine	Végétaux	3 109	3 977	5 930
	Animaux	394	431	835
Asie	Végétaux	11 807	16 732	23 009
	Animaux	1 230	1 918	4 188
Ex-URSS	Végétaux	1 580	1 017	2 118
	Animaux	220	106	363
OCDE	Végétaux	8 669	4 856	10 939
	Animaux	1 437	632	2 159
Monde	Végétaux	29 341	37 646	53 551
	Animaux	3 543	4 274	8 408

Figure 8.14. Productions alimentaires végétales en 1961, 2003, 2050, comparaison des scénarios Agrimonde GO et Agrimonde 1.

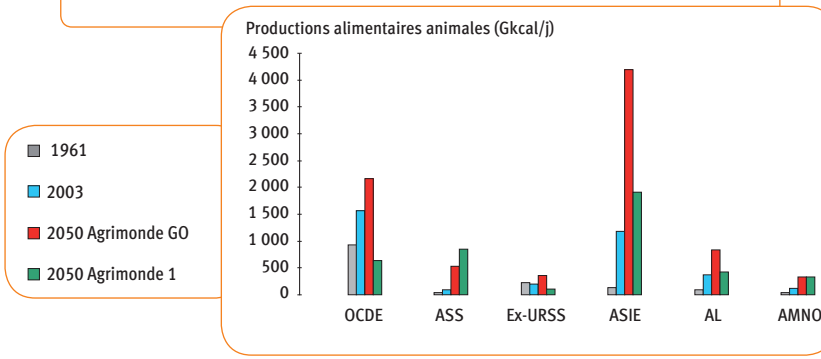


Source : d'après Agribiom, FAO, MEA, Agrimonde.

la disponibilité alimentaire moyenne s'accroît dans les régions où elle est aujourd'hui insuffisante (i.e. inférieure à la disponibilité individuelle ciblée dans ce scénario) : l'Asie et l'Afrique subsaharienne. Les transformations proposées dans ce scénario reposent donc non seulement sur des modifications de production mais aussi sur une redistribution géographique des consommations.

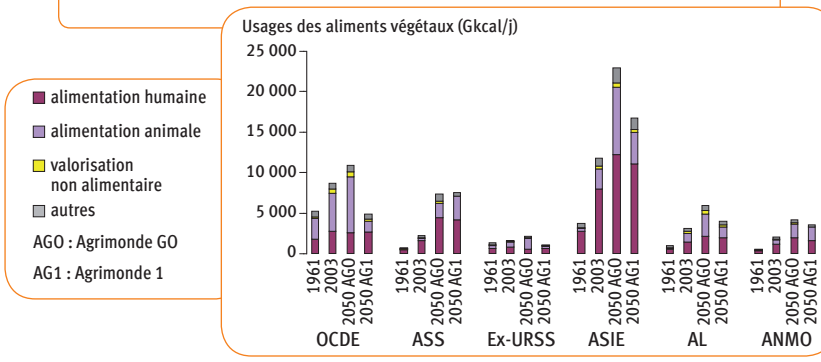
La figure 8.16 illustre l'effet de l'application d'une ration alimentation moyenne universelle sur les utilisations de ressources végétales. Elle montre en particulier la forte réduction des calories de l'alimentation des animaux en OCDE. La figure 8.17 montre la même évolution

Figure 8.15. Productions alimentaires animales en 1961, 2003, 2050, comparaison des scénarios Agrimonde GO et Agrimonde 1.



Source : d'après Agribiom, FAO, MEA, Agrimonde.

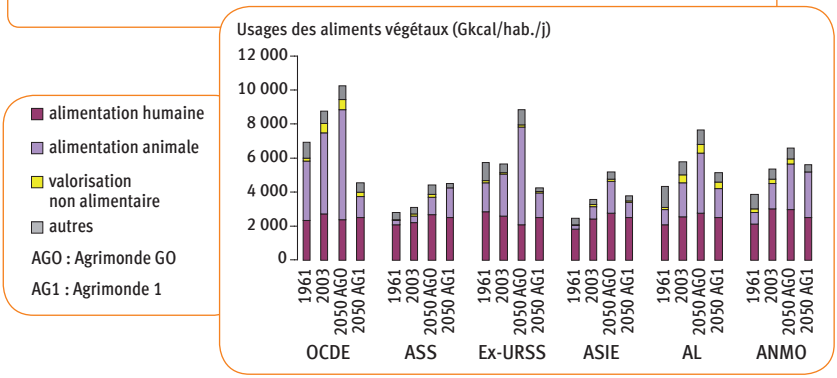
Figure 8.16. Usages des aliments végétaux en 1961, 2003 et 2050, comparaison des scénarios Agrimonde GO et Agrimonde 1.



Source : d'après Agribiom, FAO, MEA, Agrimonde.

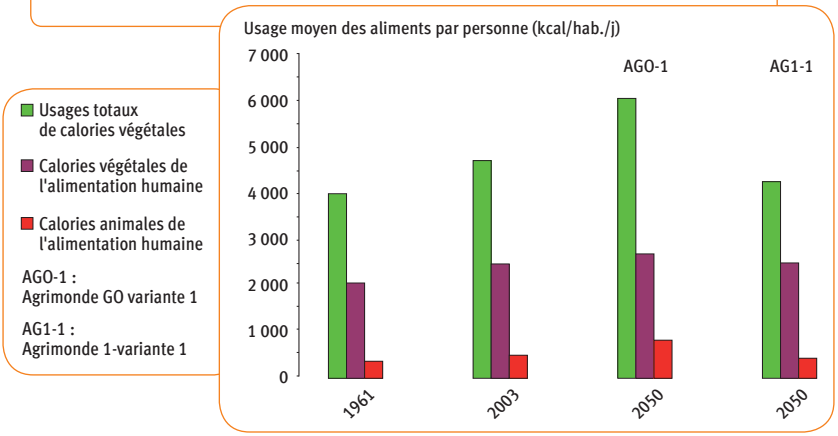
par personne. Elle permet d'illustrer la redistribution des calories d'Agrimonde 1 à la fois par rapport à 2003 et par rapport à Agrimonde GO. Les deux éléments aboutissent à une comparaison agrégée à l'échelle mondiale des deux scénarios (Figure 8.18) qui permet de distinguer la consommation totale de calories végétales, la consommation de calories végétales disponibles pour l'alimentation humaine, et la consommation alimentaire de calories animales.

Figure 8.17. Usages des aliments végétaux par personne en 1961, 2003 et 2050, comparaison des scénarios Agrimonde GO et Agrimonde 1.



Source : d'après Agribiom, FAO, MEA, Agrimonde.

Figure 8.18. Usage moyen des aliments par personne en 1961, 2003 et 2050, comparaison des scénarios Agrimonde GO et Agrimonde 1.



Source : d'après Agribiom, FAO, MEA, Agrimonde.

9 - Confrontation, cohérence et facteurs d'évolution des scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO

Tévécia Ronzon, Jean-Marc Chaumet et Sandrine Paillard

Questionner les scénarios quantitatifs construits pour préciser leurs dimensions qualitatives, laissées ouvertes par la quantification, tel est notre objectif. Dans un premier temps, pour chaque région et au niveau mondial, les scénarios sont soumis à un test de cohérence interne et des enseignements sont tirés de leur confrontation. L'objectif est de vérifier si, dans chaque région et globalement, les hypothèses quantitatives pour les différentes variables permettent bien de construire des scénarios réellement cohérents, c'est-à-dire compatibles avec les principes de construction retenus au départ et notamment, pour le scénario Agrimonde 1, le principe de durabilité. La confrontation des deux scénarios (Agrimonde 1 et Agrimonde GO) permet en outre de comparer deux stratégies très différentes, permettant toutes les deux (théoriquement) un équilibre ressources-emplois alimentaires au niveau mondial, comme il a été montré dans le chapitre 8.

À cet égard, dans ce chapitre et les suivants, nous nous référons aux bilans ressources-emplois calculés selon la variante 1, c'est-à-dire la variante dans laquelle les transferts interrégionaux se font sous forme de calories végétales uniquement (en d'autres termes, les pays déficitaires en calories animales, plutôt qu'importer des calories animales, importent des calories végétales pour nourrir leur cheptel). Dans un deuxième temps, l'analyse se concentre sur les conditions et les leviers qui permettraient d'atteindre le monde de 2050 décrit dans Agrimonde 1 dans chaque région et globalement (les conditions de réalisation d'Agrimonde GO étant supposées être celles du scénario *Global Orchestration* du *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA, 2005b)).

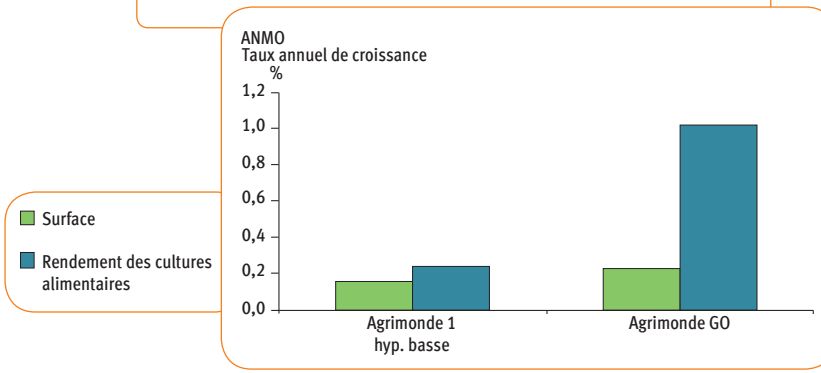
Afrique du Nord - Moyen-Orient : le défi d'un développement fondé sur des ressources naturelles de plus en plus rares

En Afrique du Nord - Moyen-Orient, la population a été multipliée par 1,8 entre 2000 et 2050 dans les deux scénarios. Dans le même temps, la demande en calories par habitant s'est réduite de 10 % dans le scénario Agrimonde 1 et s'est à peu près maintenue dans le scénario Agrimonde GO (+ 3 %). La demande alimentaire totale en calories (disponibilités d'origine végétale, animale et aquatique en cal/hab./j pour la consommation humaine x population) a atteint 1 900 Gkcal/j dans Agrimonde 1 et 2 200 Gkcal/j dans Agrimonde GO, la décomposition du régime alimentaire étant sensiblement la même dans les deux scénarios.

La rareté de la ressource en eau dans la région s'est trouvée accentuée du fait du réchauffement climatique et a limité les possibilités d'accroissement de la production dans Agrimonde 1, alors même que la demande en calories a augmenté. Les surfaces cultivées (alimentaires essentiellement) ont très peu augmenté (+ 7 millions d'hectares, soit + 8 %) et occupent en 2050 tout le potentiel cultivable de la région. Les surfaces en pâture ont à peine diminué (- 6 millions d'hectares) et les rendements des cultures végétales n'ont gagné que 13 % en 50 ans dans l'hypothèse basse (+ 0,24 % par an). Dans le scénario Agrimonde GO, les surfaces cultivées ont augmenté de 10 millions d'hectares et les pâtures en ont perdu 7 ; les rendements des cultures alimentaires ont progressé au rythme de 1,02 % par an (soit une augmentation de 66 % en 50 ans, Figure 9.1).

Les utilisations totales en calories végétales (somme des utilisations pour l'alimentation humaine et animale, les semences, les pertes et les usages non alimentaires) en Afrique

Figure 9.1. Taux annuel de croissance des surfaces et des rendements alimentaires dans les scénarios Agrimonde en Afrique du Nord - Moyen-Orient entre 2000 et 2050.



du Nord - Moyen-Orient sont passées de 1 900 Gkcal/j en 2000 à 3 500 en 2050 dans le scénario Agrimonde 1 (+ 90 %) et à 4 200 Gkcal/j dans Agrimonde GO (+ 125 %) (dans la variante 1 des ressources-emplois des scénarios, cf Chapitre 8). Au bilan, les stratégies adoptées dans les scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO ne permettent pas à la région d'Afrique du Nord - Moyen-Orient de couvrir la demande régionale en calories en 2050. Il manque environ 2 200 Gkcal/j dans les deux scénarios ; la demande en calories végétales pour la consommation humaine peut être couverte mais les ressources régionales ne suffisent pas à alimenter l'ensemble du cheptel.

Les scénarios Agrimonde sont-ils cohérents en Afrique du Nord - Moyen-Orient ?

Les bilans ressources-emplois nous invitent à nous interroger sur la cohérence du scénario Agrimonde 1. En particulier, pour cette région, qui en 2050 ne pourra probablement plus compter sur les revenus tirés des énergies fossiles, on peut se demander quels secteurs de l'économie seront en mesure d'assurer la solvabilité de la demande alimentaire envisagée dans le scénario Agrimonde 1, si le secteur agricole est fortement limité dans son développement. Par ailleurs, est-t-il réellement possible de maintenir les surfaces agricoles dans un contexte de saturation du potentiel cultivable conjugué à une urbanisation croissante[82] ?

Dans le scénario Agrimonde 1, le secteur agricole est limité dans son développement faute de terres potentiellement cultivables et pour cause de contraintes environnementales, notamment hydriques, qui ont largement freiné les possibilités de progression des rendements. Par rapport au scénario Agrimonde GO, qui suppose que les rendements ont considérablement augmenté et ont permis des gains de revenus agricoles, dans Agrimonde 1, le secteur agricole risque de ne pas pouvoir employer une population rurale en forte croissance. Et compte tenu de l'ampleur de la croissance démographique attendue en Afrique du Nord - Moyen-Orient, une très grande partie de la population rurale pourrait migrer vers les villes. Notre scénario est alors confronté à un problème essentiel de cohérence puisque la limitation des terres cultivables risque de se traduire par une accélération de l'artificialisation des terres agricoles[83], conduisant à un cercle vicieux ne permettant pas de maintenir les surfaces agricoles[84]. Aussi, les inégalités des conditions de vie entre la population urbaine et la population agricole pourraient s'accroître dangereusement et

82. D'après le rapport Mediterra, la population urbaine au Sud de la Méditerranée est passée de 108 millions d'habitants en 1990 à 140 millions d'habitants en 2000. Elle est estimée à 214 millions d'habitants pour 2020 (CIHEAM, 2008).

83. Dans le Maghreb, l'espacement moyen des agglomérations est passé de 66 km à 21 km entre 1950 et 1995 dans la zone littorale et de 66 km à 32 km dans la zone intérieure (CIHEAM, 2008).

84. À ce titre, Méditerra propose pour « sécuriser le paysage foncier » : un suivi dynamique des évolutions foncières (surface et qualité des terres agricoles et arables) ; de renforcer le caractère opérationnel des appareils juridiques capables de démarquer clairement les terres agricoles du foncier constructible ; de promouvoir la contractualisation des baux ruraux (CIHEAM, 2008).

constituer un autre problème de cohérence de ce scénario. Par conséquent, la durabilité du scénario Agrimonde 1 repose beaucoup sur les opportunités de création de richesse dans les zones rurales, grâce à des productions agricoles à haute valeur ajoutée, mais aussi dans la transformation des produits, le tourisme, etc.

Les problèmes et les questions soulevées par le scénario Agrimonde GO ne paraissent pas notablement différents. En outre, dans ce scénario, l'hypothèse d'une augmentation élevée des rendements est relativement forte puisqu'elle suppose qu'on a réussi à surmonter les impacts du changement climatique dans cette région (variabilité accrue des précipitations, par exemple), et qu'elle a pu se réaliser sans accroître la vulnérabilité des agroécosystèmes, en particulier du fait de leur dépendance aux intrants (régularité des apports et efficacité des matières actives). De plus, l'accroissement des rendements envisagé dans Agrimonde GO risque de rendre la pression sur la ressource en eau encore plus forte, conduisant ainsi à l'émergence d'éventuels conflits d'usage de l'eau entre les secteurs domestique et agricole, cristallisés autour de l'approvisionnement des villes en eau potable.

Dans ces deux cas, Agimonde 1 et Agrimonde GO, les scénarios agricoles pour cette région sont sous très forte contrainte.

Quels facteurs d'évolution pour l'agriculture et l'alimentation en Afrique du Nord - Moyen-Orient ?

Trois principaux défis caractérisent le scénario Agrimonde 1 dans cette région : la gestion de l'eau, le développement de l'emploi rural et la réduction des inégalités d'accès à l'alimentation.

Dans le scénario Agrimonde 1, entre 2000 et 2050, le secteur agricole a été confronté au défi d'améliorer à la fois la valeur ajoutée et le rendement des cultures – de 13 % au minimum par rapport à 2000 – en condition de stress hydrique accentué par les effets du changement climatique. La question de l'eau et des modes de production agricole en condition de stress hydrique a donc été, dans ce scénario, un axe prioritaire de la recherche. Cela s'est traduit par des percées scientifiques et techniques dans les domaines des techniques d'irrigation, de la sélection génétique, des pratiques agricoles qui, dans cette région comme dans beaucoup d'autres, se sont beaucoup axées sur l'amélioration de l'infiltration de l'eau et des assolements moins exigeants en eau. Parallèlement, dans ce scénario, les politiques de gestion de la ressource en eau ont dû être renforcées de façon déterminante ; elles ont permis de rationaliser l'allocation de la ressource entre ses différents usages, ainsi qu'une meilleure valorisation de cette ressource.

Dans le scénario *Révolution doublement verte* (R2V) de Michel Griffon, les rendements des cultures ont progressé de 0,59 % par an grâce aux techniques de l'intensification écologique (Griffon, 2006). Un tel gain se situe entre l'hypothèse basse d'Agrimonde 1 et l'hypothèse d'Agrimonde GO. L'auteur retient surtout comme essentiel d'améliorer l'efficacité de l'eau d'irrigation, de privilégier les techniques de conservation de l'eau dans le

sol et la couverture du sol par des plantes légumineuses notamment, ainsi que l'association céréaliculture-élevage (*ley farming*[85] en particulier). Il estime inévitable que les périmètres irrigués soient de plus en plus consacrés aux cultures maraîchères et éventuellement à la production de ressources fourragères pour des élevages intensifs. Pour cette région, l'exercice de prospective Méditerra (CIHEAM, 2008) propose des pistes complémentaires pour optimiser la gestion des ressources hydriques (Encadré 9.1). La possibilité de commerce d'eau virtuelle qui y est mentionnée souligne que l'optimisation de la gestion de l'eau passe également par une réflexion sur les échanges de produits alimentaires et sur les choix de politiques agricoles.

Entre 2000 et 2050, dans le scénario Agrimonde 1, la population rurale a largement augmenté et elle a dû, en grande partie, réussir à s'employer dans les territoires ruraux. L'exode rural a en conséquence été contenu. Ceci suppose que la région a su rééquilibrer les dynamiques de développement entre zone littorale et arrière-pays qui opposaient au début du XXIe siècle un littoral urbain concentrant les richesses et relié au marché international et un arrière-pays agricole pauvre et peu compétitif. Pour faire face aux problèmes sociaux, économiques et environnementaux associés à une urbanisation difficile à

Encadré 9.1 – Propositions pour optimiser la gestion des ressources hydriques du rapport Mediterra (CIHEAM, 2008)

Du côté des politiques de gestion de l'offre, des opportunités de développement résident dans :
- le dessalement de l'eau de mer pour les pays dont les ressources financières le permettent ;
- les progrès en matière de réutilisation des eaux usées urbaines pour l'irrigation agricole.

Les politiques de gestion de la demande devront favoriser :
- les économies d'eau (notamment par des voies techniques comme l'irrigation de précision et l'amélioration du réseau d'adduction d'eau) ;
- des arbitrages politiques entre les usages en fonction du rapport coûts-avantages et des externalités positives ;
- des innovations tarifaires (tarification par paliers).

Enfin, la nouvelle politique hydraulique doit être accompagnée par des changements juridiques et institutionnels :
- amendement des réglementations actuelles ;
- mise en place d'une unité de gestion de l'eau au niveau du bassin versant ou de la nappe, avec le soutien des usagers de l'eau ;
- recours au commerce d'eau virtuelle.

85. *Ley farming* : technologie créée et diffusée en Australie, fondée sur un travail superficiel du sol et une rotation céréale/luzerne ; il permet une meilleure intégration céréales-élevage (Lahmar, 2006).

maîtriser, les politiques d'aménagement du territoire dans beaucoup de pays de cette région ont cherché à maintenir ou à susciter un dynamisme économique des campagnes en soutenant les activités agricoles et agroalimentaires mais aussi d'autres activités de services, notamment dans le secteur du tourisme dans certains territoires. La relocalisation des systèmes alimentaires a présenté ici une des voies d'intégration des petites agricultures au marché local et donc de progression de la demande solvable en milieu rural.

Enfin, la transformation des régimes alimentaires est une dernière inflexion majeure supposée pour la région Afrique du Nord - Moyen-Orient dans Agrimonde 1. En moyenne, entre 2000 et 2050, la consommation alimentaire par habitant est passée de 3 339 kcal à 3 000 kcal dans cette région. Certes, on peut imaginer que des politiques nutritionnelles ont été mises en œuvre de façon efficace pour enrayer l'épidémie d'obésité[86] (elles ont principalement visé la réduction de la consommation de graisses saturées et de sucres). Surtout, la réduction des inégalités de revenus et donc d'accès à l'alimentation a dû être un objectif majeur des politiques sociales et économiques ; elles ont été complémentaires des politiques d'aménagement du territoire puisqu'elles se sont centrées sur l'amélioration des conditions de vie dans les zones rurales.

Afrique subsaharienne : comment concilier durabilité et développement ?

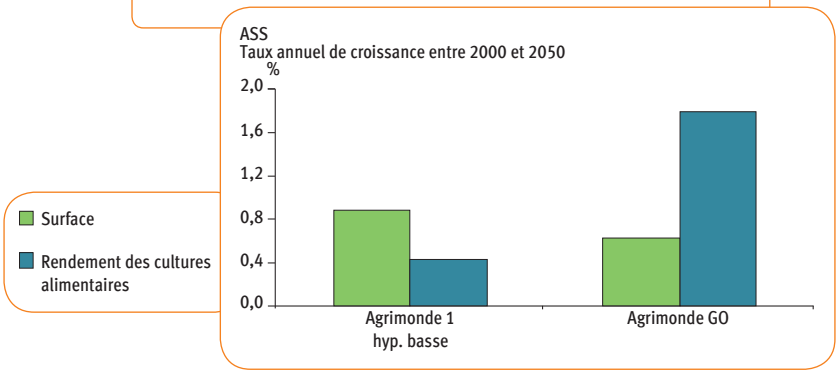
Dans le scénario Agrimonde 1, la région Afrique subsaharienne a vu sa population multipliée par 2,5 entre 2000 et 2050 tandis que la consommation de calories par habitant a augmenté de 30 %. À cet égard, la situation dans Agrimonde GO est très proche, si ce n'est que la part des produits animaux et aquatiques dans le régime alimentaire de cette région est supérieure dans Agrimonde 1 (17 % contre 10 % dans Agrimonde GO). La demande alimentaire totale (voir page 172) en calories est donc pratiquement identique dans les deux scénarios (environ 4 900 Gkcal/j).

Face à ces fortes augmentations des besoins, le scénario Agrimonde 1 table plutôt sur une extension importante des surfaces que sur des progrès majeurs en termes de rendements tandis qu'Agrimonde GO envisage une forte hausse des rendements et une augmentation des terres cultivées alimentaires légèrement inférieure à celle d'Agrimonde 1 (environ 110 millions d'hectares supplémentaires en 2050 par rapport à 2000 dans Agrimonde 1 contre 70 millions dans Agrimonde GO).

La relative faiblesse des gains de rendements dans Agrimonde 1 (+ 0,44 % par an dans l'hypothèse basse) par rapport notamment à Agrimonde GO (+ 1,80 % par an, Figure 9.2) et aux tendances passées (+ 1,63 % par an entre 1961 et 2000) tient, d'une part, à la prise en compte des impacts potentiels du changement climatique, notamment en Afrique de

86. Au Sud de la Méditerranée, les disponibilités alimentaires ont très fortement progressé au cours des quarante dernières années avec un gain moyen de 800 kcal/hab./j. (CIHEAM, 2008).

Figure 9.2. Taux annuel de croissance des surfaces et des rendements alimentaires dans les scénarios Agrimonde en Afrique subsaharienne entre 2000 et 2050.



l'Ouest, qui selon certaines études pourraient conduire à une baisse des rendements avec des techniques inchangées, et d'autre part, à la faible intensité capitalistique des systèmes de production envisagés dans ce scénario pour cette région. Dans le même esprit, Michel Griffon retient, pour son scénario R2V, une hypothèse de gain de rendement (+ 0,62 % par an) de l'ordre de l'hypothèse basse retenue pour Agrimonde 1, ce qui le conduit à faire l'hypothèse d'une multiplication par 5 des surfaces cultivées pour réussir à équilibrer le bilan ressources-emplois régional en calories végétales pour l'alimentation humaine directe.

Les utilisations totales en calories végétales (voir page 172) en Afrique subsaharienne sont passées de 2 000 Gkcal/j en 2000 à 7 500 en 2050 dans le scénario Agrimonde 1 (+ 280 %) et à 7 400 Gkcal/j dans Agrimonde GO (+ 270 %) (dans la variante 1 des ressources-emplois des scénarios, cf Chapitre 8). Au total les stratégies envisagées dans les scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO ne sont pas équivalentes puisque le bilan ressources-emplois en 2050 est beaucoup plus favorable dans Agrimonde GO que dans l'hypothèse basse de rendement d'Agrimonde 1 : il manque environ 1 300 Gkcal/j dans Agrimonde GO contre presque 4 000 dans Agrimonde 1).

Les scénarios Agrimonde sont-ils cohérents en Afrique subsaharienne ?

Les bilans ressources-emplois respectifs de ces deux scénarios nous invitent à nous interroger sur la cohérence du scénario Agrimonde 1. Ce dernier est-il vraiment un scénario de développement durable ? Deux principaux problèmes émergent à cet égard.

D'une part, dans un contexte où la population augmente considérablement alors que les gains de rendement sont limités, la croissance économique du secteur agricole risque de

ne pas être suffisante pour être la base d'un essor économique global susceptible d'assurer la solvabilité de la demande alimentaire. En particulier, on peut craindre que le développement envisagé dans Agrimonde 1 ne bénéficie pas à une partie des ménages agricoles, qui se trouvera marginalisée[87], et ainsi particulièrement touchée par la pauvreté et les problèmes d'accès à l'alimentation. D'autre part, si le choix d'une progression modérée des rendements couplée à des techniques de production peu intensives en termes de mécanisation et d'intrants, permet d'envisager un scénario dont l'impact de l'agriculture sur les écosystèmes cultivés est modéré, la forte conversion des terres de pâture et surtout de forêt en terres cultivées a un impact sans doute non négligeable sur les services écosystémiques rendus par ces espaces naturels et semi-naturels. En particulier, le maintien de la fertilité des sols dans le scénario Agrimonde 1 est un enjeu important, d'autant plus dans les espaces pris sur la forêt où l'interruption des cycles des macro et micronutriments rend les sols très fragiles.

À cet égard, Agrimonde GO, qui envisage une nette accélération du rythme des progrès des rendements entre 2000 et 2050 par rapport à la période 1961-2000, table sur une extension des terres cultivées, qui, si elle est moindre que celle d'Agrimonde 1, demeure importante. Elle se fait essentiellement sur les espaces forestiers puisque la hausse de la consommation de produits animaux dans cette région se traduit dans ce scénario par une augmentation des surfaces en pâture. La déforestation est donc beaucoup plus marquée dans Agrimonde GO (- 200 millions d'hectares) que dans Agrimonde 1 (- 57 millions d'hectares). Ainsi, même une hypothèse très haute en matière de rendement ne permet pas réellement d'éviter un grignotage de la forêt en Afrique subsaharienne.

Quels facteurs d'évolution pour l'agriculture et l'alimentation en Afrique subsaharienne ?

Les problèmes soulevés par le test de cohérence du scénario Agrimonde 1 sont aussi les deux principaux défis à relever dans cette région. En effet, Agrimonde 1 suppose deux ruptures de tendance majeures par rapport à la période 1961-2000 :

- le développement agricole, qui a permis notamment une hausse de 30 % de la consommation calorique moyenne par habitant entre 2000 et 2050 ;
- la mise en culture des pâtures s'est accélérée tandis que celle qui touche la forêt s'est ralentie.

Le développement a évidemment été le premier défi à relever en Afrique subsaharienne dans le scénario Agrimonde 1 comme dans le scénario Agrimonde GO. Il pose des questions déjà maintes fois soulevées sur l'accès aux capitaux, aux techniques, aux terres, à

87. D'après le rapport sur le développement humain du PNUD (Programme des Nations unies pour le développement) de 2005, l'Afrique subsaharienne est la région la plus inégalitaire du monde. Son indice GINI est de 72,2 (UNDP, 2005). Ce coefficient mesure le degré d'inégalité de la distribution des revenus dans une société donnée. Il varie de 0 (égalité parfaite) à 100 (inégalité totale : une personne concentre tous les revenus, les autres n'ont rien).

la formation, aux marchés, sur l'amélioration des infrastructures et l'évolution de la gouvernance dans cette région ou encore sur les régulations des échanges agricoles mondiaux. Le scénario Agrimonde 1 et sa confrontation au scénario Agrimonde GO permettent de préciser certains de ces questionnements.

Agrimonde 1 s'inspire de la « révolution doublement verte » imaginée par Michel Griffon en envisageant en Afrique subsaharienne des systèmes de production à faible intensité capitalistique. À l'inverse du scénario Agrimonde GO qui promeut des systèmes d'intensification reposant sur une mécanisation poussée et un apport important en intrants, le scénario Agrimonde 1 explore la mise au point de systèmes techniques limitant le besoin en capitaux ; la dépendance vis-à-vis des énergies fossiles dont on suppose qu'elles vont se raréfier et se renchérir ; l'impact de l'agriculture sur les écosystèmes.

Selon Michel Griffon, les principaux leviers techniques de la *Révolution doublement verte* dans cette région sont la mise en place de petits aménagements hydrauliques dans les zones sèches, une plus grande complémentarité des systèmes de culture et d'élevage dans les zones de savane et la mise en œuvre de pratiques d'agroforesterie sur le modèle des « jardins créoles »[88] en zone forestière. Les gains de rendement sont en revanche, selon l'auteur, plus difficiles à réaliser sur les hautes terres qui connaissent actuellement une crise aigüe de leurs systèmes agraires[89]. Il considère que les systèmes techniques seront susceptibles d'améliorer les rendements de 0,62 % par an entre 2000 et 2050, soit une hypothèse proche de l'hypothèse basse de rendement envisagée dans Agrimonde 1 (+ 0,44 % par an). Ceci constitue un défi d'autant plus important que les systèmes de culture devront permettre de faire face à la fois à la faiblesse des disponibilités en eau dans certaines régions et à l'accentuation de la variabilité climatique.

Pourtant, comme nous l'avons souligné plus haut, l'augmentation de rendement envisagée dans l'hypothèse basse d'Agrimonde 1 risque de ne pas être suffisante pour permettre un développement suffisant. Pour qu'Agrimonde 1 soit un scénario de développement par l'agriculture en Afrique subsaharienne, il faut vraisemblablement envisager l'hypothèse haute de rendements (+ 1,40 % par an). Mais même si cette hypothèse reste peu exigeante par rapport au scénario Agrimonde GO (+ 1,80 % par an) ou même par rapport aux tendances passées (+ 1,63 % par an entre 1961 et 2000), elle est bien supérieure à celle envisagée par Michel Griffon et questionne la possibilité de promouvoir des technologies d'intensification écologique permettant de doubler les rendements en Afrique subsaharienne d'ici à 2050.

Par ailleurs, les systèmes techniques de la *Révolution doublement verte* ne sont aujourd'hui que partiellement disponibles alors que les systèmes d'intensification classique le sont et vraisemblablement en mesure d'apporter, comme l'imagine le scénario Agrimonde GO,

88. Le concept de jardin créole se réfère à la grande diversité de plantes cultivées, souvent en association, sur une surface réduite.

89. Cette crise se manifeste par une faible surface par famille, un entretien difficile de la fertilité des sols, un plafonnement des productions, une concurrence pour l'usage des ressources (Griffon, 2006).

des gains de rendement bien supérieurs à ceux envisagés dans Agrimonde 1, au moins au début de la période. Par conséquent, si le progrès de l'agriculture est la priorité en Afrique subsaharienne, ne faut-il pas envisager une trajectoire d'intensification en deux temps dans cette région ? Une première phase reposerait sur la diffusion des techniques d'intensification classique, qui permettrait un essor agricole et serait suivie d'une seconde phase d'intensification écologique quand les techniques auront été mises au point et les enjeux environnementaux se feront plus prégnants que les enjeux de développement. Le choix d'une telle trajectoire renvoie aux obstacles à la révolution verte, mais aussi à la question de l'irréversibilité des choix technologiques. En effet, la mise en œuvre et la diffusion d'un système technique crée de fortes interdépendances entre technologies, infrastructures, formation, configurations d'acteurs..., qui peuvent se traduire par un « *lock-in* » (« verrouillage ») empêchant ou freinant les bifurcations technologiques même quand l'environnement marchand et les potentialités des nouvelles technologies rendent le « basculement » optimal vers un nouveau système technique sur le plan économique.

L'inflexion de tendance relative à la mise en culture de nouvelles terres est un deuxième défi du scénario Agrimonde 1 dans cette région. En effet, dans l'objectif de préserver autant que possible les ressources forestières, seulement 40 % des nouvelles terres cultivées ont été prises sur des espaces forestiers, le reste ayant été pris sur les pâtures (ou savanes). En plus des 90 millions d'hectares de savanes convertis en terres agricoles, les usages de la savane ont été complexifiés par des pratiques d'agroforesterie à grande échelle, ce qui a constitué un élément important, tant en matière de production que d'emplois et de revenus ruraux. Cependant, le type d'organisation et de propriété foncière en place en 2000 a rendu difficile l'arrêt des fronts pionniers actuels sur les terres forestières de certaines zones d'Afrique de l'Ouest (Sud Mali, Ouest Burkina, Est Sénégal, Nigeria, Togo et Nord de la Côte d'Ivoire). La pression sur la forêt a été d'autant plus grande que celle-ci recèle la ressource hydrique et qu'avec les impacts du changement climatique, le potentiel cultivable s'est déplacé vers les zones forestières au détriment des zones de savanes pâturées. Le scénario Agrimonde 1 a donc reposé sur la mise en place d'infrastructures écologiques pour la forêt équatoriale, ce qui a permis à la fois la mise en culture et le maintien d'une certaine biodiversité. Les incitations à préserver la forêt, qui sont donc un point clé du scénario dans cette région comme dans d'autres, supposent une gouvernance mondiale forte.

Amérique latine : des ressources à exploiter mais aussi à protéger et à partager

Entre 2000 et 2050, l'Amérique latine a connu une forte croissance démographique dans les deux scénarios, sa population ayant augmenté de 50 %. Parallèlement, la demande alimentaire totale en calories par habitant s'est stabilisée dans le scénario Agrimonde 1 (- 3 % par rapport à 2000) et a augmenté de 20 % dans le scénario Agrimonde GO. Au total, en 2050 la demande en calories (voir page 172) a atteint 2 300 Gkcal/j dans le

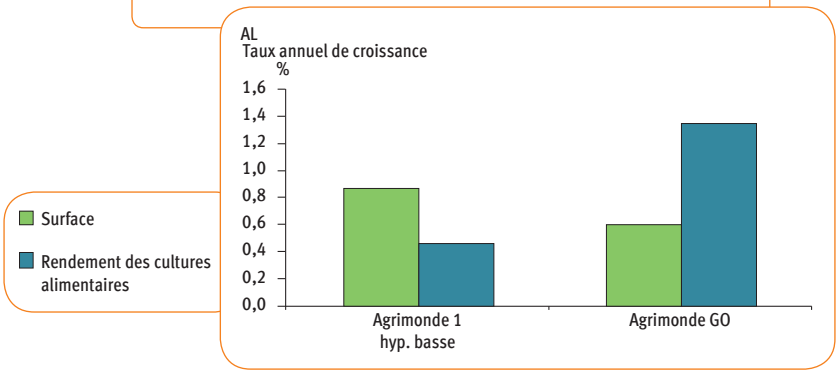
scénario Agrimonde 1 et 2 900 Gkcal/j dans le scénario Agrimonde GO. Les régimes alimentaires de ces deux scénarios ne diffèrent pas seulement sur le plan de la demande totale en calories, mais aussi sur celui de leur composition. Dans le scénario Agrimonde GO, un quart des calories sont d'origines animale et aquatique, alors qu'elles le sont à raison d'un sixième dans le scénario Agrimonde 1.

Afin d'augmenter les capacités productives de la région, la stratégie adoptée dans le scénario Agrimonde 1 a reposé sur la mise en valeur d'une partie de l'énorme potentiel cultivable latino-américain et sur une augmentation modérée des rendements des cultures, tandis qu'elle a essentiellement tablé sur l'accroissement des rendements grâce au progrès technologique dans le scénario Agrimonde GO. Effectivement, les surfaces cultivées ont presque doublé dans Agrimonde 1 (dont seulement + 54 % de terres à usage alimentaire) alors qu'elles n'ont augmenté que de 64 % dans Agrimonde GO (dont + 36 % pour les terres à usage alimentaire), et les rendements des cultures n'ont gagné que 26 % dans Agrimonde 1 alors qu'ils ont pratiquement doublé dans Agrimonde GO.

Les gains de rendement ont ralenti par rapport aux tendances passées dans les deux scénarios (+ 0,46 % par an dans l'hypothèse basse d'Agrimonde 1 et + 1,35 % dans Agrimonde GO entre 2000 et 2050 contre + 1,88 % par an entre 1961 et 2000, Figure 9.3). Ce ralentissement est imputable dans Agrimonde 1 à la prise en compte de la fragilité des sols, particulièrement dans les zones herbagères et sur les fronts pionniers forestiers de cette région. La progression y est également freinée par les effets du réchauffement climatique qui pourrait causer, selon la FAO, la désertification et la salinisation de 50 % des terres d'ici 2050 et des pertes de rendement (FAO, 2004).

Les utilisations totales en calories végétales (voir page 172) en Amérique latine sont passées de 2 700 Gkcal/j en 2000 à 4 000 en 2050 dans le scénario Agrimonde 1 (+ 45 %) et

Figure 9.3. Taux annuel de croissance des surfaces et des rendements alimentaires dans les scénarios Agrimonde en Amérique latine entre 2000 et 2050.



à 5 900 Gkcal/j dans Agrimonde GO (+ 120 %) (dans la variante 1 des bilans ressources-emplois des scénarios, Chapitre 8). Au total, les deux stratégies adoptées dans les scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO permettent d'équilibrer le bilan ressources-emplois de la région en 2050, et même de dégager des surplus régionaux, ceux-ci étant d'ampleur comparable (environ 2 000 Gkcal/j).

Les scénarios Agrimonde sont-ils cohérents en Amérique latine ?

Le doublement des surfaces cultivées dans Agrimonde 1 est-il compatible avec un développement durable ?

Cette question est posée d'une part sur le plan environnemental, puisque ce scénario suppose une forte réduction des espaces naturels et semi-naturels, et d'autre part, sur le plan social, puisque l'extension territoriale risque d'exacerber les inégalités foncières déjà criantes.

Dans le scénario Agrimonde 1, environ 150 millions d'hectares ont été mis en culture entre 2000 et 2050 ; 110 millions d'hectares ont été pris sur des terres anciennement en pâture, aux sols souvent fragiles (surpâturage) et le reste sur les forêts. Ces transformations majeures des espaces naturels et semi-naturels pourraient avoir des impacts sur la biodiversité des écosystèmes, sur les cycles de l'eau et du carbone, mais aussi sur les conditions de vie des communautés qui dépendent des ressources naturelles de ces écosystèmes (aliments, bois, pharmacopée, symboles culturels).

Sur le plan social, dans une des régions les plus inégalitaires du monde[90], on peut questionner le scénario Agrimonde 1 sur les conditions d'accès à ces nouveaux espaces mis en culture, et sur la répartition de la rente fournie par leur exploitation. Ces nouvelles terres ont-elles été un levier pour permettre l'installation de familles sans terres ? Ont-elles été le lieu de mise au point de systèmes de production et de transformation des produits alimentaires bénéficiant à la sécurité alimentaire de leurs habitants ? Ou bien ont-elles été mises au service de l'essor des agrocarburants (qui ont progressé de 60 millions d'hectares dans le scénario Agrimonde 1) et de leurs industries aval ? Quel aura été le rôle de l'État dans la régulation des marchés fonciers ?

Ces questions peuvent paraître moins prégnantes dans Agrimonde GO, où la pression sur les terres non cultivées a été nettement moindre (- 13 millions d'hectares), mais elles ont vraisemblablement des conséquences plus importantes sur les terres cultivées : l'augmentation supposée des rendements dans ce scénario a-t-elle pu se faire sans accroître l'impact sur l'environnement (pollution par les intrants notamment) ? Les systèmes techniques mis en œuvre, pour intensifier la production et éventuellement pour éviter ses effets négatifs sur l'environnement, n'ont-ils pas été uniquement à la portée de très grosses exploitations concentrées ? Dans ce cas, quelle est la situation sociale des petits exploitants, notamment ceux qui étaient sans terre en 2000 ?

90. D'après le rapport sur le développement humain du PNUD de 2005, l'Amérique latine est la deuxième région la plus inégalitaire du monde après l'Afrique subsaharienne. Son indice GINI est de 57,1 (UNDP, 2005).

Quels facteurs d'évolution pour l'agriculture et l'alimentation en Amérique latine ?

Les questions de durabilité environnementale et sociale sont aussi les principaux défis à relever en Amérique latine dans le scénario Agrimonde 1 ; la gestion des ressources naturelles et du foncier sont donc les principaux leviers de réalisation du scénario.

Dans le scénario Agrimonde 1, on peut imaginer que l'emprise sur les espaces forestiers (notamment amazoniens) s'est poursuivie au cours d'une première phase, durant laquelle les services écosystémiques fournis par le plus grand bassin forestier du monde ont nettement régressé. Outre sa fonction de stockage du carbone, les fonctions hydrologiques de l'Amazonie s'en sont trouvées altérées. Le cycle interne d'évaporation et de pluie a été affecté et a limité la quantité globale d'eau en circulation dans le système amazonien, accentuant ainsi les phénomènes d'aridification induits par le changement climatique (Encadré 7.3). Face à ces tendances, des régulations environnementales mondiales fortes ont été mises en place à partir de 2015 et, couplées à la pression des lobbies écologistes nationaux et internationaux, elles ont alors stimulé la mise en place de politiques publiques de protection, de reforestation et d'aménagement de la forêt. Ces politiques ont notamment visé à stopper « l'effet domino » provoqué par l'essor des agrocarburants, c'est-à-dire stopper la migration des cultures supplantées par les cultures énergétiques vers le front pionnier forestier, ainsi qu'à maîtriser les dynamiques de déforestation liées à l'élevage, aux incendies, à l'exploitation industrielle du bois… En outre, le maintien de la biodiversité a supposé de donner une attention spéciale au « *hotspot* » de biodiversité situé dans le *cerrado* brésilien. Le maintien de la biodiversité est également passé par la mise en place d'une trame écologique et a supposé une certaine régulation dans l'extraction des ressources naturelles marchandes (bois, minerais, espèces à valeur pharmaceutique ou cosmétique, etc.).

La mise en culture de terres tropicales ou nouvellement déboisées pose en outre la question du mode de reproduction de leur fertilité, donc des techniques de fertilisation adoptées. Pour Michel Griffon, les techniques de la *Révolution doublement verte* doivent, dans cette région, se traduire par un aménagement du milieu forestier conciliant les fonctions écologiques, climatiques et productives de la forêt, un perfectionnement des techniques de mulchage et une plus grande complémentarité des systèmes de culture et d'élevage dans les zones traditionnelles d'agriculture sous climats tropicaux et tempérés, de petits aménagements hydrauliques et une gestion intégrée de l'eau dans les zones sèches (Griffon, 2006). Ainsi, dans les systèmes de culture du scénario Agrimonde 1, les innovations agricoles attendues ont moins été de l'ordre des gains de rendement que de l'ordre de la complexification des systèmes de production aux frontières de l'espace cultivé traditionnel : agropastoralisme et systèmes de culture sous ombrage dans les zones de savane arborée et agroforesterie sur le front pionnier forestier. En revanche, les systèmes d'élevage de ruminants ont connu une réelle intensification dans Agrimonde 1 puisque la demande totale en calories issues de ruminants, qui est restée stable en Amérique latine entre 2000 et 2050, a dû être satisfaite avec 20 % de surface en pâture en moins.

Ces évolutions des systèmes de culture et d'élevage ont supposé que la recherche agronomique a orienté ses études vers la production en milieu forestier et de savane, et l'approfondissement des questions de complémentarités spécifiques et d'allélopathie dans le temps et dans l'espace. Le volet environnemental a également fait partie des priorités puisqu'il s'est agit dans cette région de préserver les espaces forestiers, et de limiter les impacts environnementaux d'une intensification de l'élevage sur des terres en pâtures en diminution, et de plus, sujettes à une fragilisation du fait du réchauffement climatique. Les modes de gestion des ressources naturelles ont évolué vers une prise en compte de la valeur écologique des ressources naturelles de même que de leur contenu culturel et des systèmes d'appartenance qui les régissent.

La question du foncier est intimement liée à la précédente. D'une part, la poursuite de la tendance à la monoculture sur les grands espaces bouleverse le fonctionnement des écosystèmes et constitue un obstacle au maintien de la biodiversité. D'autre part, la durabilité sociale du scénario Agrimonde 1 passe par la réduction des inégalités face au foncier. Elle implique au minimum que soit garantie la sécurité foncière des différents exploitants et que l'accès au marché de la terre ne soit pas discriminant selon le genre ou l'origine ethnique. L'efficacité de la valorisation des terres implique quant à elle que l'accès au capital soit facilité pour ceux qui présentent le moins de garanties, mais aussi que des efforts importants soient réalisés tant sur le plan de la formation agricole que de la compréhension du fonctionnement des filières et des marchés agricoles par les différents exploitants.

Enfin, toujours pour la durabilité sociale du scénario, la question du développement en zones rurales est un enjeu fort dans cette région. Le scénario Agrimonde 1 suppose en effet que le développement agricole dans les nouveaux espaces anthropisés aura produit des emplois ruraux et qu'il aura constitué un instrument de développement rural avec les politiques sociales et d'aménagement du territoire. Dans cette région, la question des acteurs du développement agricole et rural est déterminante et est laissée très ouverte par la quantification du scénario.

Asie : aux limites du potentiel agricole, maîtriser l'urbanisation et la transition alimentaire

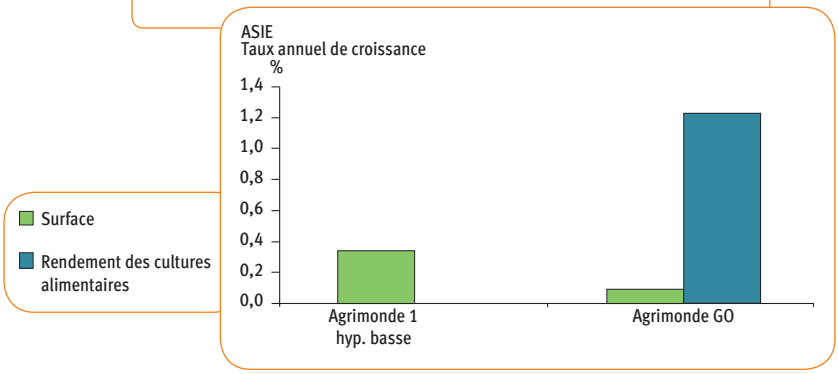
L'Asie a connu entre 2000 et 2050 une augmentation de sa population de 38 % dans les deux scénarios pour s'établir à plus de 4,4 milliards d'habitants. L'évolution de la consommation alimentaire par habitant a été très variable selon le scénario étudié ; alors qu'elle a augmenté de 7 % dans Agrimonde 1, elle s'est accrue de 32 % dans le scénario Agrimonde GO, soit près de 1 000 kcal supplémentaires par rapport à l'année 2000. De plus, en 2050, la consommation de produits d'origine animale et aquatique par habitant est, dans cette région, deux fois plus importante dans Agrimonde GO que dans Agrimonde 1. Au total, la demande alimentaire totale en calories (voir page 172) est donc beaucoup plus forte dans Agrimonde GO (16 400 Gkcal/j) que dans Agrimonde 1 (13 300 Gkcal/j).

Face à cette augmentation des besoins et étant donné un potentiel d'extension très limité en 2000, les surfaces cultivées ont augmenté de façon modérée dans les deux scénarios quoique de façon plus importante dans Agrimonde 1 (+ 23 % dans Agrimonde 1 entre 2000 et 2050 contre + 11 % dans Agrimonde GO)[91]. En revanche, alors que les pâtures ont régressé dans Agrimonde 1 (- 9 %), elles ont augmenté dans Agrimonde GO (+ 30 %) pour satisfaire la forte demande en produits animaux. Ces surfaces en pâture supplémentaires ont été prises sur les forêts qui ont vu leurs surfaces diminuer de 11 % dans Agrimonde GO, soit sensiblement la même diminution que celle observée dans Agrimonde 1 (- 10 %).

Alors qu'Agrimonde GO parie sur une progression encore forte des rendements (+ 1,23 % par an), Agrimonde 1 envisage au contraire une stabilité des rendements en Asie dans son hypothèse basse (Figure 9.4). Celle-ci tient à deux raisons principales : d'une part, la prise en compte des impacts du changement climatique, comme l'augmentation de la fréquence d'événements violents ou d'autres problèmes environnementaux comme la salinisation des deltas de riziculture irriguée, et d'autre part, les limites de la révolution verte dans cette région qui connaît en 2000 les rendements les plus élevés du monde (même si certaines zones en agriculture pluviale peuvent encore voir leurs rendements croître).

Les utilisations totales en calories végétales (voir page 172) en Asie sont passées de 11 500 Gkcal/j en 2000 à 16 700 en 2050 dans le scénario Agrimonde 1 (+ 45 %) et à 23 000 Gkcal/j dans Agrimonde GO (+ 100 %) (dans la variante 1 des bilans ressources-

Figure 9.4. Taux annuel de croissance des surfaces et des rendements alimentaires dans les scénarios Agrimonde en Asie entre 2000 et 2050.



91. Les surfaces strictement alimentaires n'ont gagné que 19 % dans Agrimonde 1 et 5 % dans Agrimonde GO.

emplois des scénarios, Chapitre 8). En 2050, la couverture des besoins par l'approvisionnement régional n'est pas assurée que ce soit dans Agrimonde 1 (environ - 3 000 Gkcal/j) ou dans Agrimonde GO (environ - 900 Gkcal/j). L'Asie doit importer dans les deux scénarios pour satisfaire ses besoins en produits animaux. Toutefois, les importations sont plus de trois fois plus importantes dans le scénario Agrimonde 1 malgré un régime alimentaire beaucoup moins calorique.

Les scénarios Agrimonde sont-ils cohérents en Asie ?

Qu'en est-il de la cohérence du scénario Agrimonde 1 et qu'apprend-on de la confrontation des deux scénarios ? Le scénario Agrimonde 1 est-il durable en Asie ?

Entre 2000 et 2050, la superficie cultivée a peu augmenté. Alors que la surface agricole par actif était déjà très faible au début du XXIe siècle et les rendements stagnants, les conditions semblent propices à un exode rural extrêmement massif, étant donné l'augmentation attendue de la population asiatique. Ceci interroge la cohérence de notre scénario à au moins deux égards :

- si l'agriculture n'absorbe pas une partie de l'augmentation de population en Asie, et que celle-ci ne trouve pas d'occupations dans les zones rurales, un afflux aussi massif de population dans les zones urbaines est-il compatible avec un développement durable ?
- les tendances à l'urbanisation, dont on attend qu'elles s'accentuent – ne serait-ce que du fait de l'augmentation de la population totale – sont encore renforcées dans le scénario Agrimonde 1 du fait du principe de migrations modérées de ce scénario. On peut alors se demander si notre hypothèse d'augmentation pourtant modeste des surfaces cultivées est bien réaliste puisque les terres artificialisées seront prises en grande partie sur des terres cultivables.

Ces questions liées à l'exode rural et à l'urbanisation se posent également pour le scénario Agrimonde GO et sont considérées par les experts du MEA comme un des risques majeurs associés à ce scénario.

Quels facteurs d'évolution pour l'agriculture et l'alimentation en Asie ?

Trois principaux défis caractérisent le scénario Agrimonde 1 en Asie :

- la diffusion de pratiques agricoles respectueuses de l'environnement en maintenant le niveau des rendements ;
- l'aménagement du territoire pour contenir l'urbanisation et l'artificialisation des terres ;
- la maîtrise de la transition nutritionnelle de sorte qu'elle ne se traduise pas par une progression de l'obésité.

L'hypothèse de rendement de Michel Griffon pour l'Asie est assez optimiste puisqu'il retient une hypothèse d'augmentation de + 0,79 % par an, de l'ordre de l'hypothèse

haute d'Agrimonde 1. Il considère en effet possible d'augmenter les rendements dans les zones tropicales humides au travers des formes d'agroforesterie traditionnelle et des aménagements écologiques contre le ruissellement de l'eau dans les pentes et sur les fronts pionniers déforestés. Dans les zones d'agriculture pluviale, il compte sur la capture, la conservation et la réaccumulation de l'eau dans les écosystèmes ainsi que sur des microbarrages utilisés pour l'irrigation. Pour les régions tropicales de la révolution verte, il cite l'exemple des nouvelles techniques mises au point par le CIMMYT (Centre international d'amélioration du maïs et du blé) reposant sur le semis direct et la restitution des pailles pour la culture suivante[92]. Nous n'avons pas été aussi optimistes sur le potentiel des technologies d'intensification écologique, considérant qu'il sera même très difficile de maintenir les rendements au niveau moyen de 2000 en ayant des exigences élevées en matière de préservation des écosystèmes. En effet, non seulement la révolution verte a vraisemblablement déjà atteint ses limites dans cette région, mais, de plus, le changement climatique va aggraver la salinisation, le manque d'eau déjà prégnant dans le Nord-Est de la région et les risques associés aux événements climatiques extrêmes (sécheresse, typhons…), dont les effets sont dès à présent accentués par le déboisement en cours, notamment en Asie du Sud-Est.

Les effets du changement climatique sur l'agriculture seront déterminants en Asie puisque ce phénomène menace une sécurité alimentaire déjà fragile. Au-delà de la lutte contre le changement climatique et de l'adaptation des systèmes de culture, on peut imaginer que dans le scénario Agrimonde 1, cette région a mis en place des systèmes de régulation des stocks et des échanges au niveau régional ainsi que d'autres dispositifs de sécurisation de ses approvisionnements extérieurs. La mise en place de tels dispositifs a nécessité la conception de nouveaux mécanismes de régulation. Ainsi, par exemple, au début du XXIe siècle, des pays contraints en termes d'espaces cultivables ont investi et créé des grands domaines agricoles dans les régions dont le potentiel n'est pas encore complètement exploité. Cela suppose que des mécanismes spécifiques de régulation et de gouvernance ont été conçus pour garantir la durabilité tant sociale qu'environnementale de tels investissements et faire en sorte qu'ils constituent de réelles opportunités de développement pour les pays d'accueil.

Agrimonde 1 décrit un équilibre très fragile en Asie puisque l'agriculture n'a vraisemblablement pas absorbé l'augmentation de la population rurale, et puisque l'extension envisagée des terres cultivées, même si elle a été modeste, aura été difficile à réaliser du fait de l'artificialisation des terres. Ce scénario repose donc en grande partie sur des politiques d'aménagement du territoire qui ont eu comme objectifs : 1) la croissance de l'emploi rural pour contenir l'exode rural ; 2) la maîtrise de l'urbanisation, que ce soit en termes de concurrence foncière avec l'agriculture, de gestion des ressources en eau, de problèmes de congestion ou encore de tensions sociales. Ceci interroge la durabilité des formes urbaines et périurbaines d'agriculture, des modèles d'urbanisation (densification

92. Techniques mises en œuvre sur 6 millions d'hectares en 2004 (riz / blé) ou (riz / maïs) (Griffon, 2006).

verticale de mégalopoles, extension de villes moyennes réparties sur le territoire…) et plus généralement des différentes configurations de relations entre villes et campagnes susceptibles d'émerger.

Le troisième défi que soulignent le scénario Agrimonde 1 et sa confrontation à Agrimonde GO concerne la transition nutritionnelle. Dans Agrimonde 1, en 2050 toutes les régions du monde voient leur consommation moyenne en calories tendre vers 3 000 kcal/hab./j, Agrimonde GO envisage au contraire des évolutions tendancielles des consommations alimentaires. Ainsi, alors que la demande calorique par habitant a augmenté de 7 % en Asie dans Agrimonde 1, elle a progressé de 32 % dans Agrimonde GO, poussée par l'augmentation des revenus et la généralisation de comportements alimentaires urbains, et liée à la proportion croissante des calories d'origine animale dans les régimes alimentaires. La question est alors celle des facteurs qui pourraient freiner l'augmentation de la consommation alimentaire ; elle se pose pour toutes les régions en développement mais est d'autant plus prégnante en Asie que sa population représente plus de la moitié de la population mondiale en 2000 et devrait augmenter de près de 40 % entre 2000 et 2050. Ainsi, c'est dans cette région que le différentiel d'utilisation totale en calories végétales (voir page 172) en 2050 entre les deux scénarios est le plus marqué (respectivement 16 700 et 23 000 Gkcal/j). La possibilité de contenir l'augmentation de la consommation alimentaire moyenne en Asie est déterminante à deux égards dans le scénario Agrimonde 1 : 1) l'équilibre ressources-emplois alimentaires au niveau mondial en dépend beaucoup ; 2) la durabilité sur le plan de la santé également, si l'on considère que la progression de l'obésité qui accompagne au début du XXIe siècle la transition nutritionnelle dans les pays en développement risquent de s'amplifier – le taux d'adultes devenant obèses chaque année en Chine entre 1992 et 2007 était, par exemple, supérieur à celui des pays développés et en développement, sauf le Mexique (Popkins, 2008).

Ex-Union soviétique : un réservoir de production mais un modèle agricole à adapter à une démographie en baisse

Entre 2000 et 2050, dans les deux scénarios, la population de l'Ex-URSS a baissé de 15 %. Cette région a maintenu, entre 2000 et 2050, son niveau de demande alimentaire en calories par habitant dans le scénario Agrimonde 1, portant le total des demandes (voir page 172) à 700 Gkcal/j. Dans le scénario Agrimonde GO, la demande alimentaire en calories par habitant a augmenté de 13 % par rapport à 2000, et les demandes cumulées atteignent 800 Gkcal/j au total en 2050 ; de plus, les régimes alimentaires requièrent davantage de calories d'origine animale et aquatique que dans le scénario Agrimonde 1 (dans Agrimonde GO et Agrimonde 1 respectivement 40 % et 17 % des calories sont d'origine animale et aquatique). Les demandes totales de calories d'origine

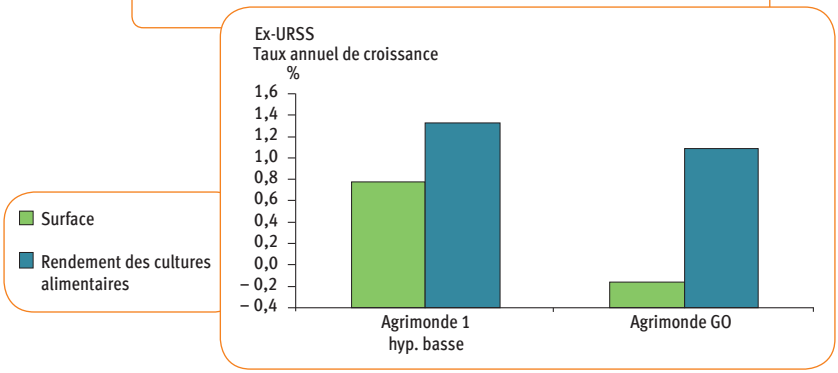
animale et aquatique ont ainsi baissé de 30 % dans Agrimonde 1 alors qu'elles ont progressé de 87 % dans Agrimonde GO.

Dans le scénario Agrimonde 1, l'Ex-URSS a mis fin aux tendances de réduction de l'espace cultivé et des rendements observées entre 1961 et 2000 pour opérer un véritable décollage agricole. Elle a accru sa surface cultivée de 53 % et doublé ses rendements entre 2000 et 2050 (+ 1,33 % par an). Ceci s'est traduit par la mise en culture d'un peu plus de 100 millions d'hectares en partie grâce au déplacement des zones pâturées vers le Nord au gré du dégel du pergélisol, ainsi que par un rattrapage du niveau de rendement de 1990.

À l'inverse, dans le scénario Agrimonde GO, l'accroissement de la production est lié uniquement à des gains de rendements (+ 1,09 % par an entre 2000 et 2050), même si ceux-ci sont plus faibles que ceux envisagés dans Agrimonde 1 (Figure 9.5). La logique de construction d'Agrimonde GO est en effet toute autre puisque la mise en culture des nouvelles terres vise à équilibrer l'offre et la demande de biomasse et non à valoriser l'énorme potentiel cultivable de la région. Les surfaces cultivées n'ont par conséquent augmenté que de 20 millions d'hectares entre 2000 et 2050 ; 36 millions d'hectares sont dédiés aux agrocarburants (biofuels) en 2050, réduisant les surfaces alimentaires d'une surface équivalente.

L'extension des surfaces en pâture observée entre 1961 et 2000 a pris fin dans les deux scénarios. Dans le scénario Agrimonde 1, les nouvelles surfaces herbagères prises sur les anciennes terres du pergélisol sont certainement moins productives que les anciennes prairies mises en culture. Mais la réduction des aires en pâture est associée à une réduction de 40 % de la demande individuelle en calories provenant de ruminants. À l'inverse, dans Agrimonde GO, cette demande a plus que doublé dans le même temps.

Figure 9.5. Taux annuel de croissance des surfaces et des rendements alimentaires dans les scénarios Agrimonde en Ex-URSS entre 2000 et 2050.



Parallèlement, la tendance actuelle à la déforestation s'est interrompue dans Agrimonde 1 entre 2000 et 2050 et s'est inversée dans Agrimonde GO où les forêts ont gagné 100 millions d'hectares. Les forêts boréales ont ainsi été conservées dans les deux scénarios, or celles-ci constituent le premier réservoir de carbone de la biosphère. Elles se distinguent des forêts tempérées et tropicales par leur stockage très important du carbone dans le sol (85 % contre 30 à 75 % pour les autres) (D4E, 2006).

Les utilisations totales en calories végétales (voir page 172) en Ex-URSS sont passées de 1 500 Gkcal/j en 2000 à 1 000 en 2050 dans le scénario Agrimonde 1 (- 30 %) et à 2 100 Gkcal/j dans Agrimonde GO (+ 45 %) (dans la variante 1 des bilans ressources-emplois des scénarios, Chapitre 8). Dans les deux scénarios, en 2050, les emplois de biomasse peuvent être largement couverts par les ressources régionales. Les surplus dégagés sont douze fois plus importants dans Agrimonde 1 (3 300 Gkcal/j) que dans Agrimonde GO (300 Gkcal/j).

Les scénarios Agrimonde sont-ils cohérents en Ex-Union soviétique ?

La comparaison des deux scénarios pose la question de la signification que peut avoir la mise en culture (dans Agrimonde 1) de plus de 100 millions d'hectares dans une région où la population décroît. Plusieurs options sont envisageables. Les superficies cultivées par actif agricole pourraient fortement augmenter grâce à l'automatisation et la mécanisation des tâches agricoles. Les exploitants agricoles ont aussi largement pu faire appel à de la main-d'œuvre en provenance des régions frontalières, l'Asie et l'Europe.

Les deux options envisagées posent des questions sur la cohérence du scénario Agrimonde 1. L'adoption de nouvelles techniques permettant de substituer certaines tâches humaines et d'agrandir les surfaces cultivées par actif requiert un investissement en capital important. Ce saut d'investissement pourrait ne pas avoir été réalisable par tout le monde et avoir entraîné un développement agricole à deux vitesses : les uns agrandissant et équipant leur exploitation agricole, les autres décapitalisant progressivement pour rester compétitifs. De plus, dans cette option de conquête de nouveaux espaces productifs à population décroissante, le tissu rural pourrait s'être relâché significativement, engendrant toutes sortes de problèmes d'accès aux services, d'isolement des personnes, etc.

L'option de recours à une main-d'œuvre en provenance d'autres régions est contraire au principe d'absence de migrations interrégionales majeures, qui préside aux principes de construction du scénario Agrimonde 1. Cette option aurait cependant pu répondre aux problèmes d'emploi agricole émergeants en Asie vu les limitations du potentiel cultivable : la main-d'œuvre employée dans la région de l'Ex-URSS aurait donc logiquement pu être d'origine asiatique dans ce scénario. Dans ce cas, on s'éloigne cependant de la logique initiale d'évaluation des « effets des évolutions démographiques à venir sans les masquer par de grands mouvements de migrations internationales » qu'on cherchait à

explorer. Quoi qu'il en soit, le rôle de réservoir de production conféré à cette région dans le scénario Agrimonde 1 constitue une hypothèse particulièrement forte.

Quels facteurs d'évolution pour l'agriculture et l'alimentation en Ex-Union soviétique ?

Comme on l'a vu, le principal défi mis en évidence par Agrimonde 1 dans cette région est la mise en culture de plus de 100 millions d'hectares en 50 ans alors que la population décroît. Dans une telle configuration, le doublement des rendements a sans doute reposé sur une agriculture très automatisée grâce aux technologies de l'imagerie et de l'informatique pour substituer l'observation des cultures et l'analyse de leur état. Il s'est aussi fondé sur l'essor des techniques de l'agriculture de précision afin de limiter les pollutions chimiques.

Dans Agrimonde 1, le paysage agricole a eu tendance à se simplifier, laissant une place accrue aux champs cultivés dans le Sud de la région et aux espaces pâturés dans le Nord. Il est vraisemblable que cette redistribution des activités agricoles a été accompagnée par une spécialisation des exploitations agricoles. Dans le domaine de la production végétale, la spécialisation des exploitations a été compatible avec l'extension attendue de la superficie travaillée par actif (augmentation de la productivité du travail). Dans le domaine de la production animale, elle a pu se traduire par une conduite plus extensive des élevages de ruminants à l'hectare sur les terres moins productives prises sur le pergélisol. En effet, entre 2000 et 2050, la demande totale en calories d'origine de ruminants a diminué de 50 % alors que les surfaces pâturées n'ont été réduites que de 16 %. Cette évolution a demandé à la recherche agronomique de répondre au défi de minimiser les externalités négatives d'une agriculture qui, au minimum, a doublé le rendement des cultures en spécialisant ses systèmes de production, voire même en déconnectant la culture de l'élevage. L'exploitation des terres fragiles issues du dégel du pergélisol a également suscité de nouvelles questions en termes de conservation des sols.

Par ailleurs, pour saisir les opportunités d'extension territoriale au Nord permises par le réchauffement climatique, un certain nombre d'adaptations ont dû être mises en place, en particulier : un cadre juridique et une politique foncière présidant à la redistribution des nouvelles terres prises sur le pergélisol ; le prolongement du réseau des infrastructures de transport vers les zones nouvellement productives, notamment jusqu'à la construction de nouveaux ports sur les côtes arctiques aujourd'hui gelées.

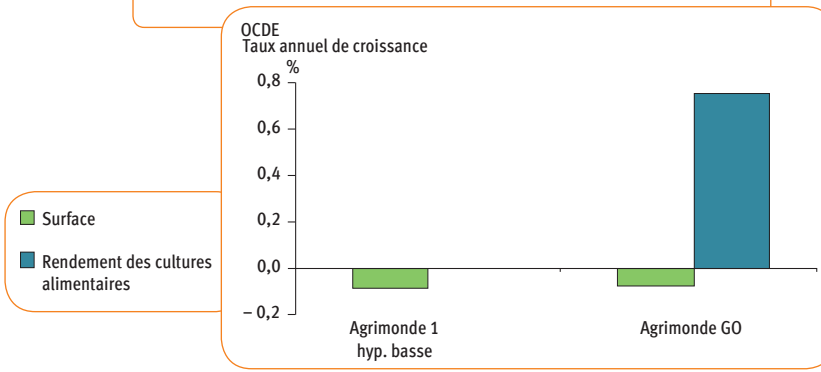
OCDE : les régimes alimentaires, éléments importants du choix de modèle de développement

Entre 2000 et 2050, dans les deux scénarios, l'OCDE a connu une augmentation de 10 % de sa population, soit 94 millions d'habitants supplémentaires. La consommation de calories alimentaires par habitant a diminué de 24 % dans le scénario Agrimonde 1

pour s'établir à 3 000 kcal/hab./j tandis que celle en produits animaux et aquatiques a chuté de 60 %. Au contraire, dans le scénario Agrimonde GO, la consommation de calories alimentaires est demeurée stable (+ 4 %) et celle en produits animaux et aquatiques a crû de 40 %. Au total, la demande alimentaire en calories (voir page 172) atteint 4 400 Gkcal/j dans Agrimonde GO et 3 200 Gkcal/j dans Agrimonde 1 en 2050.

L'évolution de l'occupation des sols est semblable dans les deux scénarios ; les surfaces alimentaires ont régressé d'environ 5 % ainsi que les pâtures (d'environ 20 %) tandis que les forêts ont progressé d'environ 10 %. Les rendements ont, par contre, évolué de manière très différenciée : stabilité dans l'hypothèse basse d'Agrimonde 1 et forte progression dans Agrimonde GO (+ 48 %, soit + 0,79 % par an, Figure 9.6).

Figure 9.6. Taux annuel de croissance des surfaces et des rendements alimentaires dans les scénarios Agrimonde en OCDE entre 2000 et 2050.



Dans l'hypothèse basse de rendement du scénario Agrimonde 1, on peut imaginer que la stabilisation des rendements en OCDE a essentiellement tenu à la priorité donnée à la recherche de qualité des produits sur le plan tant organoleptique, sanitaire qu'environnemental et non à l'intensification des systèmes de production.

Les utilisations totales en calories végétales (voir page 172) en OCDE sont passées de 8 500 Gkcal/j en 2000 à 4 900 en 2050 dans le scénario Agrimonde 1 (- 45 %) et à 10 900 Gkcal/j dans Agrimonde GO (+ 30 %) (dans la variante 1 des bilans ressources-emplois des scénarios, Chapitre 8). Malgré une forte augmentation des rendements le surplus total dans Agrimonde GO est, en 2050, près de deux fois moindre que celui du scénario Agrimonde 1 (4 200 Gkcal/j dans Agrimonde 1 et 2 500 Gkcal/j dans Agrimonde GO). La raison en est le différentiel de consommation de produits animaux. Ainsi, dans la région OCDE, la confrontation des deux scénarios met en lumière de façon la plus évidente

l'importance de la consommation de produits animaux sur les équilibres ressources-emplois alimentaires, notamment vu l'importance des aliments concentrés dans les systèmes de production animale dans cette région.

Les scénarios Agrimonde sont-ils cohérents en OCDE ?

La mise en regard des potentialités de production avec les consommations dans le scénario Agrimonde 1 laisse apparaître une diminution de la consommation calorique par habitant alors que la région se situe loin des limites de production, en termes de surfaces comme en termes de rendement. Si ceci ne pose pas de problème de cohérence sur le plan régional, on peut s'interroger sur la cohérence d'une telle option régionale au niveau global. En effet, une pression plus forte sur les ressources dans la zone OCDE aurait permis de relâcher celle exercée sur les écosystèmes d'autres régions.

Quels facteurs d'évolution pour l'agriculture et l'alimentation en OCDE ?

Deux principaux défis marquent la région OCDE dans le scénario Agrimonde 1 : 1) un changement d'orientation de l'agriculture tant en matière de pratiques que de produits et services offerts et 2) la diffusion de modes de consommation alimentaires moins riches en calories, notamment d'origine animale.

L'hypothèse de maintien des rendements à travers une modification des pratiques agricoles, moins intensives en intrants chimiques et reposant davantage sur la connaissance des écosystèmes conduit à s'interroger sur les pratiques mises en œuvre, sur la capacité de ces pratiques à atteindre l'objectif de maintien des rendements au niveau de 2000, mais également sur les raisons de telles transformations. Une telle évolution peut s'expliquer par des pressions des consommateurs et des politiques publiques pour orienter l'agriculture vers la multifonctionnalité, des pratiques moins dommageables pour l'environnement et la production de denrées de qualité, même si une partie des exploitations agricoles a continué dans la voie de l'industrialisation et de la production de denrées alimentaires standardisées. Cette orientation suppose cependant que les produits à haute valeur ajoutée ont trouvé suffisamment de débouchés. Si l'essor important des filières offrant des produits agricoles à haute valeur ajoutée a sans doute permis des économies d'échelle et donc une réduction de leur prix d'achat, le scénario Agrimonde 1 suppose tout de même que la tendance à la précarisation des classes moyennes dans de nombreux pays de cette région depuis la fin du XX^{e} siècle a été enrayée.

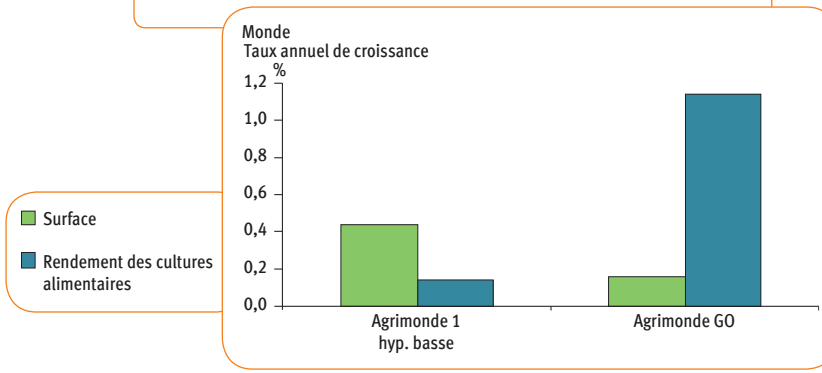
La réduction de la consommation calorique moyenne par habitant d'un quart entre 2000 et 2050 imaginée dans Agrimonde 1 est bien entendu une rupture de tendance majeure dans cette région. Elle renvoie aux politiques nutritionnelles et à leur efficacité, aujourd'hui très controversée, mais aussi à la réduction des pertes à la consommation au travers d'un moindre gaspillage et d'une meilleure valorisation des déchets.

Des interactions régionales de plus en plus fortes pour nourrir le monde

Dans les deux scénarios, la population mondiale a augmenté de 50 % entre 2000 et 2050, pour atteindre près de 9 milliards d'habitants tandis que la demande en calories alimentaires par habitant connaît des niveaux très différenciés : stagnation à 3 000 kcal/hab./j dans Agrimonde 1 et progression à 3 588 kcal/hab./j dans Agrimonde GO, soit une augmentation de 20 % par rapport aux chiffres de 2000. Les régimes alimentaires de ces deux scénarios ne diffèrent pas seulement sur le plan de la demande totale en calories, mais aussi sur celui de leur composition : 500 kcal/hab./j de produits d'origine animale et aquatique dans Agrimonde 1 et 890 kcal/hab./j dans Agrimonde GO. Au total, la consommation alimentaire calorique totale (voir page 172) au niveau mondial atteint 26 400 Gkcal/j dans Agrimonde 1 et 31 600 Gkcal/j dans Agrimonde GO.

L'augmentation de la production a reposé dans le scénario Agrimonde 1 sur la mise en valeur du potentiel cultivable encore inexploité dans certaines régions du monde (+ 39 % de terres mises en cultures entre 2000 et 2050) et la mise en œuvre de techniques de production autorisant des hausses de rendements modérées (+ 0,14 % par an, Figure 9.7). Une stratégie différente est proposée dans Agrimonde GO, où l'expansion des surfaces est plus limitée (+ 23 %) et la hausse des rendements nettement plus importante (+ 1,14 % par an). Les pâtures diminuent de 15 % dans Agrimonde 1 alors qu'elles augmentent de 7 % dans Agrimonde GO. Ces tendances reflètent aussi les différentes orientations qui ont été prises dans les deux scénarios en termes de demande en calories provenant de ruminants (1 600 Gkcal/j dans Agrimonde 1 et 4 100 Gkcal/j dans Agrimonde GO). Les surfaces forestières sont peu affectées au niveau mondial quel que soit le scénario (- 1 % dans les deux scénarios).

Figure 9.7. Taux annuel de croissance des surfaces et des rendements alimentaires dans les scénarios Agrimonde dans le monde entre 2000 et 2050.



Les utilisations totales en calories végétales (voir page 172) dans le monde sont passées de 28 100 Gkcal/j en 2000 à 37 600 en 2050 dans le scénario Agrimonde 1 (+ 35 %) et à 53 600 Gkcal/j dans Agrimonde GO (+ 90 %) (dans la variante 1 des bilans ressources-emplois des scénarios, Chapitre 8). Au final, les deux stratégies permettent d'équilibrer le bilan ressources-emplois alimentaires au niveau mondial en 2050, Agrimonde GO dégageant même un surplus (440 Gkcal/j). Le commerce interrégional est cependant indispensable dans les deux scénarios pour satisfaire les besoins de toutes les régions.

La comparaison des deux stratégies envisagées illustre bien deux modes d'intensification possibles. Dans le scénario Agrimonde GO, les gains de rendements sont importants et permettent en contrepartie de limiter la mise en culture des espaces naturels (forêts) et semi-naturels (savanes ou prairies semi-naturelles). Il faut cependant noter que 550 millions d'hectares mis en culture proviennent de la catégorie de surface « autres », soit de l'aménagement de terrains en forte pente ou de semi-déserts, non comptabilisés dans les surfaces cultivées, les surfaces en forêt ou en pâture en 2000. À l'inverse, dans le scénario Agrimonde 1, la volonté de limiter la pression sur les ressources naturelles dans les espaces productifs a contraint les rendements dans les limites connues en 2000 dans le cas de l'hypothèse basse de rendements (+ 7 % en moyenne mondiale entre 2000 et 2050). Les deux scénarios montrent bien que pour atteindre un équilibre ressources-emplois alimentaires au niveau mondial, l'extension des surfaces agricoles est indispensable, même si celle-ci est modérée par la stabilisation de la demande en calories alimentaires à 3 000 kcal/hab./j dans le scénario Agrimonde 1 ou par les gains de rendements dans Agrimonde GO.

Les scénarios Agrimonde sont-ils cohérents au niveau global ?

En plus des questions de cohérence identifiées au niveau régional, le scénario Agrimonde 1 pose des questions en termes de cohérence globale :

- le scénario Agrimonde 1, pour être cohérent, repose sur la possibilité d'échanges interrégionaux puisque certaines régions affichent des surplus tandis que d'autres régions ne peuvent pas satisfaire régionalement les besoins alimentaires envisagés en 2050. Ces possibilités d'échanges reposent sur des régulations qui, d'un côté, évitent des distorsions de prix défavorables à l'essor de l'agriculture dans les pays en développement tout en comportant de fortes exceptions pour permettre aux agricultures les moins productives de développer un marché local, et d'un autre côté, permettent de révéler les coûts environnementaux associés aux activités agricoles pour inciter les agriculteurs à mettre en place des systèmes d'exploitation plus durables ;
- la disparité des degrés de pression qui s'exercent sur les terres dans les différentes régions du monde interroge le choix de ne pas exploiter plus avant le potentiel cultivable des régions Amérique latine et OCDE pour desserrer la forte pression qui s'opère sur les terres dans d'autres régions du monde (Afrique du Nord - Moyen-Orient, et Asie en particulier) ;
- le scénario suppose que des politiques aient été mises en œuvre à l'égard de la forêt, permettant de stopper la déforestation en Ex-URSS, de la ralentir fortement en Amérique

latine et de la freiner très légèrement en Afrique subsaharienne. Ceci pose la question de l'harmonisation des politiques de gestion des ressources naturelles au niveau mondial, et de l'articulation des initiatives régionales et globales ;

- la production de ruminants augmente dans les deux scénarios, même si l'augmentation est beaucoup plus marquée dans Agrimonde GO. La baisse des surfaces en pâtures dans Agrimonde 1 et sa légère augmentation dans Agrimonde GO peuvent alors apparaître paradoxaux puisque Agrimonde GO suppose une intensification de l'élevage. Cela conduit à s'interroger sur les options les plus durables pour les systèmes d'élevage. En effet, ceux-ci doivent permettre l'optimisation, en termes d'usage des ressources et de conversion des calories végétales en calories animales tout en minimisant les impacts sur l'environnement (liés à la pollution et aux changements d'usage des sols). En outre, cette optimisation doit être adaptée au contexte local. Par exemple, dans certaines zones, l'élevage remplit d'autres objectifs que la seule alimentation humaine, à savoir la traction animale, le capital sur pied, les amendements, etc. ;
- le fort contraste en termes de densité de population entre les régions questionne également le principe de construction du scénario selon lequel les migrations régionales resteraient limitées à l'ampleur connue dans le passé d'ici à 2050.

De son côté, la cohérence du scénario Agrimonde GO repose sur deux hypothèses très fortes. D'une part, il suppose que la libéralisation des échanges, couplée à des progrès techniques importants, permet de susciter le développement. D'autre part, les fortes hausses de rendements envisagés fondées sur une poursuite de la trajectoire scientifique et technologique de la révolution verte sont parfois en contradiction avec les baisses de rendement prévues du fait du changement climatique dans les études du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat et de Parry *et al.* (2004), réalisées certes à un niveau technologique constant (Encadrés 7.2 à 7.7). Pour être réalisables, cela suppose à la fois que la trajectoire d'Agrimonde GO est toujours porteuse d'opportunités de progrès considérables et que l'état des écosystèmes ne sera pas une menace à la concrétisation de ces opportunités.

Quels facteurs d'évolution pour l'agriculture et l'alimentation au niveau global ?

Au niveau global, le principal défi du scénario Agrimonde 1 est celui des régulations et des modes de gouvernance interrégionale qui permettraient de le faire émerger. Celles-ci concernent l'aide au développement, les échanges de biens agricoles, la lutte contre le réchauffement climatique, la protection des ressources naturelles (eau et forêt notamment) et des écosystèmes, la distribution du foncier mais aussi les investissements directs étrangers dans l'agriculture dans leurs dimensions sociales et environnementales. La question des droits de propriété intellectuelle est également déterminante puisque le scénario Agrimonde 1 repose sur des innovations radicales qui supposent des progrès techniques (et donc des incitations) et la circulation des savoirs. En outre, étant donné le caractère indispensable des échanges alimentaires, le scénario Agrimonde 1 porte le

risque que ces échanges deviennent une arme alimentaire. Pour faire face à cette menace, des accords internationaux sur les politiques alimentaires ont dû être établis.

Agrimonde GO table sur la libéralisation des échanges et des transferts interrégionaux d'aide au développement, associés à une gouvernance mondiale forte et multilatérale pour accélérer la croissance dans toutes les régions du monde et ainsi réduire la pauvreté et la malnutrition. Le scénario Agrimonde 1 est plutôt plus exigeant en termes d'efficacité de la gouvernance mondiale puisqu'elle doit permettre également une pro-activité dans la gestion des écosystèmes, absente dans Agrimonde GO. Il est pourtant difficile de trancher quant à son caractère multilatéral ou régional. De même, si Agrimonde 1 repose sur la libre circulation des biens agricoles, la prise en compte des fortes interactions entre production agricole et ressources naturelles (et changement climatique) doit peser sur la régulation des échanges.

10 - Dimensions qualitatives et récits des scénarios Agrimonde

Sandrine Paillard et Sébastien Treyer

Ce chapitre explore la variété des dimensions qualitatives des scénarios Agrimonde pour proposer des scénarios complets au niveau mondial. Dans un premier temps, sur la base de l'exploration prospective conduite dans les chapitres précédents, nous nous interrogeons sur les hypothèses d'évolution relatives aux dimensions qualitatives des systèmes agricole et alimentaire dans chacun des scénarios. Dans un second temps, un récit possible de chacun des deux scénarios est proposé.

Les dimensions qualitatives des scénarios mondiaux

La grille des dimensions et variables du système Agrimonde présentée en début d'ouvrage (Tableau 1.1) doit faire l'objet d'une analyse approfondie pour compléter la structure quantitative des scénarios par des hypothèses d'évolution sur leurs dimensions qualitatives. Cette analyse, réalisée seulement au niveau mondial par souci de simplicité (et présentée en détail en annexe 6 page 273), nous a permis de construire les récits de scénarios proposés dans la suite. De nombreuses variables sont laissées indéterminées par les scénarios quantitatifs et peuvent faire l'objet d'hypothèses d'évolution variées, compatibles avec l'exigence de cohérence des scénarios. Ce sont alors les principes de scénarios et la recherche de plausibilité qui guident la formulation des hypothèses qualitatives. Ainsi, à côté du scénario quantitatif, les hypothèses qualitatives apparaissent déterminantes pour que les scénarios présentés fassent partie des futurs possibles.

Cette analyse permet aussi de souligner certains points saillants de l'exploration prospective réalisée dans le cadre d'Agrimonde. Elle met en évidence les hypothèses d'évolution pour lesquelles les scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO sont les plus contrastés et donc les ruptures les plus marquées envisagées dans le scénario Agrimonde 1 par rapport aux tendances actuelles qu'Agrimonde GO prolonge. Les évolutions relatives à l'exode rural, aux comportements alimentaires, aux politiques publiques et régulations et aux systèmes d'innovation comptent ainsi parmi les hypothèses les plus fortes du scénario Agrimonde 1 :

- le monde en 2050 du scénario Agrimonde 1 a vu les pays aujourd'hui en développement évoluer sur la base d'un progrès agricole caractérisé par des systèmes d'exploitation plutôt intensifs en main-d'œuvre. L'emploi rural, autre qu'agricole, a aussi dû être une priorité des politiques de développement, notamment dans les régions au potentiel de croissance agricole limité, comme l'Asie ou l'Afrique du Nord - Moyen-Orient. Ainsi, même si l'exode rural et l'urbanisation dans les régions à forte croissance démographique restent massifs, Agrimonde 1 correspond plutôt à un scénario de stabilisation de leur rythme contrairement à Agrimonde GO dans lequel ils s'accélèrent puisque les progrès techniques dans l'agriculture y sont à la fois très rapides et orientés vers une substitution capital-travail ;
- Agrimonde GO se veut un scénario plutôt tendanciel dans le domaine des consommations alimentaires, celles-ci augmentant avec les revenus, notamment dans sa part d'origine animale. Agrimonde 1, quant à lui, envisage des transformations importantes des régimes alimentaires associées à des préoccupations environnementales mais surtout nutritionnelles, la lutte contre l'obésité étant un objectif très important dans ce scénario. Si les hypothèses quantitatives ne concernent que le nombre moyen de kilocalories consommées dans les différentes régions, et leur répartition par origines (végétale, monogastrique, ruminant, aquatique), on imagine que les fortes évolutions qui les marquent s'accompagnent aussi de transformations radicales des pratiques de consommation alimentaire et plus généralement des modes de vie, notamment dans les régions marquées par une baisse de la consommation calorique totale ;
- en ce qui concerne l'action publique, Agrimonde GO se caractérise par une moindre intervention. Celle-ci est généralement réactive, que ce soit en matière nutritionnelle, énergétique et environnementale. Dans Agrimonde 1 les échanges de produits agricoles doivent être fortement encouragés puisque les échanges nécessaires pour assurer la sécurité alimentaire dans toutes les régions sont non seulement plus importants qu'au début du siècle mais aussi supérieurs à ceux du scénario Agrimonde GO. Les soutiens directs à la production sont donc voués à disparaître (même s'ils doivent être possibles le temps du développement de l'agriculture dans les pays les plus dépendants de l'agriculture). Pourtant, la libéralisation des échanges n'est pas allée de pair avec une moindre intervention des États. Cette dernière est déterminante et proactive, axée sur le développement régional, la protection des écosystèmes, l'adaptation et la lutte contre le changement climatique. Les politiques nutritionnelles y sont également très ambitieuses ;
- dans les deux scénarios, l'effort de recherche et d'innovation, public comme privé, dans le champ agricole et alimentaire a dû être massif et en bonne partie international. Il a été complémentaire d'un investissement important dans la formation des agriculteurs dans les pays en développement. Toutefois, les scénarios se distinguent nettement en ce qui concerne la nature des connaissances produites et leurs modes de production et de diffusion ; ils font ainsi écho au rapport final de l'*International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development* (IAASTD), qui souligne les implications de différents modes d'innovation (IAASTD, 2009). Si, dans Agrimonde GO, l'objectif des innovations est principalement l'augmentation des rendements, celle-ci doit être compatible avec les objectifs de protection des écosystèmes et de moindre dépendance

aux intrants dans Agrimonde 1. En outre, l'intensification écologique et les progrès décisifs dans la connaissance des écosystèmes qu'elle suppose, reposent sur une transformation des modes de production et de diffusion des connaissances caractérisée par de fortes synergies entre savoirs locaux, profanes, et la diversité des savoirs disciplinaires.

L'analyse des dimensions qualitatives des scénarios souligne aussi les limites de l'exploration prospective réalisée dans le cadre d'Agrimonde. En effet, certaines de ces dimensions apparaissent à la fois déterminantes pour que les scénarios soient plausibles, mais particulièrement difficiles à appréhender du fait du caractère macroscopique de la démarche ou encore des mécanismes relatifs aux équilibres emplois-ressources, qui sont de nature davantage comptable qu'économique. Ainsi par exemple, les principes de construction des scénarios impliquent des formes sociales de production agricole très contrastées dans les deux scénarios. Agrimonde GO est caractérisé par la poursuite de l'industrialisation de l'agriculture tandis qu'Agrimonde 1 suppose des technologies de production faiblement capitalistiques dans les pays en développement, et repose sur des formes sociales de production ayant une forte composante d'agriculture paysanne. Toutefois, les conditions de coexistence de formes sociales variées restent à imaginer alors qu'elles sont déterminantes pour la réalisation du scénario, notamment en Amérique latine et en Afrique subsaharienne. De même, la diversité des formes entrepreneuriales dans les industries agroalimentaires est un élément central du scénario Agrimonde 1 mais la réflexion prospective étant surtout centrée sur la production et la consommation finale de biomasse, elle apporte peu à l'analyse de la coexistence des différents acteurs industriels (PME, coopératives, firmes multinationales) et de leurs relations.

Enfin, l'analyse des dimensions qualitatives des scénarios permet de questionner leur durabilité. Le développement durable est un principe de construction du scénario Agrimonde 1, qui part justement de l'idée que des agricultures et des alimentations durables caractérisent le monde en 2050. Dans les deux scénarios, des progrès décisifs ont été réalisés en matière de réduction de la pauvreté et de la malnutrition. Agrimonde GO envisage un monde dans lequel répondre à cet objectif n'a pu se faire qu'en « sacrifiant » d'autres objectifs comme la protection des écosystèmes, la lutte contre le réchauffement climatique ou encore la maîtrise de l'épidémie d'obésité. Agrimonde 1, au contraire, explore la complémentarité de ces objectifs. Celle-ci s'avère néanmoins fragile ; non seulement elle exige des changements de comportements assez radicaux mais aussi la protection des écosystèmes risque dans certaines zones de limiter le développement agricole, comme on l'a vu dans le chapitre précédent pour la région Afrique subsaharienne. En outre, le choix d'une trajectoire d'innovation limitant les impacts des activités agricoles sur l'environnement s'est traduit par une limitation des gains de rendements et donc par une forte expansion des surfaces cultivées ; si celle-ci a pu conduire à des gains de biodiversité domestique, elle a certainement encore affaibli, toutes choses égales par ailleurs, la biodiversité sauvage, qui doit donc être protégée par des dispositifs spécifiques. En outre, le changement d'occupation des sols, marqué par une forte conversion des pâtures en cultures, risque de se traduire par un déstockage de carbone, qui doit être compensé par des systèmes de production moins dépendants des énergies fossiles et plus aptes à séquestrer du carbone.

Les agricultures et alimentations du monde en 2050 dans les scénarios Agrimonde

L'ANALYSE DES SCÉNARIOS QUANTITATIFS RÉGIONAUX EN TERMES DE COHÉRENCE ET DE LEVIERS D'ACTION, et leur confrontation (Chapitre 9) a conduit à préciser certaines hypothèses qualitatives des scénarios. La réflexion menée précédemment, sur les dimensions et variables qualitatives du système Agrimonde, a permis d'avancer encore vers la définition de scénarios mondiaux, plausibles et cohérents. Sur cette base, le récit d'Agrimonde GO est présenté, il reprend celui de *Global Orchestration* dans le *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA) (MEA, 2005b), ainsi qu'un récit possible du scénario Agrimonde 1.

Agrimonde GO : nourrir la planète en privilégiant la croissance économique mondiale

Dans Agrimonde GO, le monde est avant tout préoccupé par l'emploi et l'alimentation d'une population croissante. Les impacts anthropiques sur les écosystèmes terrestres augmentent au fur et à mesure que les surfaces agricoles et urbaines s'étendent.

Développement et échanges internationaux se renforcent mutuellement

Depuis le début du XXIe siècle, nombreux sont ceux qui ont soutenu que la faim était un problème de répartition équitable plutôt qu'un problème de sous-production. Pourtant, la stratégie d'accroissement de la production (par les rendements et dans une moindre mesure les surfaces) a eu davantage de poids dans les débats internationaux et a été considérée comme l'option la plus efficace pour parvenir à une réduction de la pauvreté et à plus grande équité.

Les investissements importants dans la recherche et dans les infrastructures, notamment dans les pays en développement, couplés à un recours croissant aux échanges, ont permis de satisfaire l'augmentation rapide de la demande alimentaire et d'abaisser les prix internationaux des produits animaux et du riz. Le marché des denrées agricoles s'est totalement libéralisé grâce à une réduction considérable des droits de douanes et des distorsions de concurrence. Les bénéfices de la libéralisation du commerce sont rapidement devenus apparents et, au fur et à mesure que les activités agricoles se sont accrues et modernisées, des régions comme l'Amérique latine et l'Afrique subsaharienne sont devenues exportatrices nettes de certains produits, tandis que l'OCDE et l'Asie ont vu leurs importations nettes s'accroître.

Cependant, certains pays dont les exportations reposaient sur des produits tropicaux (café, cacao…) n'ont pas bénéficié de l'ouverture internationale. La croissance économique dans ce groupe de pays a reposé sur d'autres opportunités, qui ont permis de diversifier les activités économiques. Dans de nombreux cas, ces opportunités ont cependant été limitées par l'insuffisante évolution des politiques en faveur du capital humain et des infrastructures.

La croissance économique a été très forte, supérieure aux moyennes historiques dans plusieurs régions, grâce à la combinaison d'une libéralisation du commerce, d'une coopération économique importante et de la diffusion rapide des nouvelles technologies. Les investissements dans l'éducation et la santé ont en outre été très importants dans toutes les régions. L'Asie a connu un rythme de croissance rapide (5 à 6 % de croissance annuelle du PIB en moyenne) pendant pratiquement toute la première moitié du siècle. L'Amérique latine, qui a surmonté ses problèmes d'endettement et de déficits commerciaux, a vu son PIB par habitant progresser de 3 à 4 % par an en moyenne. L'Afrique a mené des réformes institutionnelles qui ont permis une forte croissance après 2025, le PIB par habitant progressant en de 2 à 4 % par an. L'Ex-URSS s'est appuyée sur sa force de travail qualifiée pour se remettre du déclin économique et dynamiser son économie (3 à 5 % de croissance du PIB par habitant par an entre 2000 et 2050).

Des progrès technologiques très rapides

Les investissements massifs dans l'éducation et dans la recherche se sont traduits par une création rapide de nouvelles technologies, dont la diffusion a été accélérée par la quasi-disparition des barrières commerciales. Les firmes multinationales se sont beaucoup impliquées dans l'innovation ; celle-ci a été de pair avec une dynamique puissante de création d'entreprises mais n'a pas été tournée vers la protection de l'environnement.

Une forte hausse de la demande d'énergie fossile et d'agrocarburants

Ce scénario de forte croissance a vu une hausse rapide de la demande énergétique, notamment d'origine fossile, mais les progrès techniques ont permis de réduire les coûts moyens de production de l'énergie et d'améliorer substantiellement l'efficacité énergétique. En 2050, l'électricité est partiellement produite à partir d'énergies renouvelables (10 % de la production totale d'énergie) et de biomasse. Les surfaces en agrocarburant ont en effet beaucoup progressé par rapport au début du siècle, poussées par l'augmentation du prix des carburants fossiles tandis que l'intensification de la production alimentaire laissait des terres disponibles pour des productions à des fins énergétiques, sans que celles-ci se traduisent par une déforestation accrue.

Environnement et maîtrise des changements globaux : des objectifs qui passent au second plan

Les conditions sont remplies pour que les problèmes environnementaux, notamment ceux associés au changement climatique et à la pêche, soient traités au niveau mondial, grâce à la coopération internationale. Mais, le souci de l'environnement passant après d'autres priorités – croissance économique, amélioration du bien-être matériel des hommes – les problèmes environnementaux qui menacent le bien-être humain (pollution, érosion, changement climatique) ne sont pris en considération que lorsqu'ils deviennent incontournables. Les institutions internationales ayant une approche réactive de la gestion des écosystèmes, elles sont prises au dépourvu par des événements écologiques imprévus.

Ainsi aucune politique climatique n'est engagée dans ce scenario et aucune tentative de contrôler les gaz à effet de serre n'est entreprise au cours des premières décennies. La confiance en la capacité de la science et de la technologie à répondre aux enjeux environnementaux crée un contexte favorable aux « surprises » écologiques, comme l'émergence de maladies infectieuses, par exemple. Ce sujet fait d'ailleurs l'objet d'une forte coopération internationale pour contrôler les crises sanitaires. Cependant, en 2050, l'accroissement des richesses finit par se traduire par un renforcement des attentes des citoyens en matière de préservation de l'environnement.

Des régimes alimentaires et des modes de consommation dans la tendance du début du siècle

La disponibilité calorique par jour et par habitant pour l'alimentation a augmenté de presque 20 % en moyenne mondiale entre 2000 et 2050, passant de 3 000 à 3 600 kcal. Les plus fortes progressions ont eu lieu en Asie (+ 900 kcal/hab./jour), en Afrique subsaharienne (+ 650 kcal/hab./jour) et en Amérique latine (+ 600 kcal/hab./jour). Le nombre d'enfants souffrant de malnutrition dans les pays en développement a été divisé par 2,5 au cours de la première moitié du siècle.

Cette tendance, stimulée par une croissance économique et une urbanisation rapides, s'accompagne d'un contenu des régimes alimentaires plus riche en protéines, les populations consommant plus de viande et de poisson. Seules les consommations de viande des régions Afrique subsaharienne et Afrique du Nord - Moyen-Orient n'ont pas augmenté sensiblement. Mais ces évolutions de la consommation ont aussi favorisé la progression de l'obésité dans de nombreuses régions (Asie, Afrique notamment) où des mesures doivent êtres prises pour encourager l'activité physique et la moindre consommation de produits gras.

Des systèmes agricoles et alimentaires qui s'industrialisent et se standardisent

Les techniques développées permettent des pratiques de cultures plus intensives, une progression du recours aux engrais et de l'utilisation de matériel végétal génétiquement modifié. La grande majorité des exploitations agricoles, petites comme grandes, sont devenues très mécanisées et industrielles. Les exploitants pratiquant une agriculture peu intensive, par choix de vie ou sur des terres marginales, ont un faible poids dans la production alimentaire et dans l'économie des pays. Le savoir local a souvent été remplacé par des méthodes industrielles standardisées et la diversité des espèces sauvages et domestiques s'est réduite.

La prédominance des firmes multinationales est prégnante dans ce scénario ; elles ont accru leur contrôle sur la production végétale et animale, notamment à travers la mise au point de nouvelles souches génétiques. Parallèlement, le pouvoir des marques est devenu aussi important que celui des gouvernements.

Agrimonde 1 : nourrir la planète en préservant les écosystèmes

Un scénario de crises

Trois crises simultanées ont favorisé l'émergence du scénario Agrimonde 1 :

- une accélération du changement climatique, perceptible dès le début des années 2010 ;
- la multiplication de crises alimentaires, de la fin des années 2000 à la fin des années 2010, marqué par une forte volatilité des prix agricoles ;
- une crise énergétique, avec une pression à la hausse du prix des énergies fossiles et une forte volatilité des prix, qui ne prend véritablement fin que vers 2040, quand l'essor des énergies de substitution permet de relâcher la contrainte.

Un développement par l'agriculture qui tire la croissance économique mondiale et ralentit l'exode rural

Entre 2000 et 2050, la croissance économique mondiale a essentiellement reposé sur la croissance des économies des pays en développement, elle-même fortement soutenue par l'essor des secteurs agricoles et agroalimentaires. L'exode rural dans les pays en développement s'est ralenti grâce au dynamisme économique des zones rurales. Outre la diffusion de techniques et pratiques d'intensification écologique, c'est toute une infrastructure d'aménagement du territoire et des filières qui s'est développée : déploiement d'infrastructures de transport et de stockage, de capacités industrielles de transformation, mais aussi des services de santé, d'éducation et de formation... Une partie des investissements nécessaires a été rendue possible par la progression des revenus en zone rurale, elle-même résultant de la progression de l'emploi rural, d'une meilleure répartition de la valeur ajoutée dans l'ensemble des filières, de la mutualisation des moyens sous des formes diverses de coopération. Les transferts publics mis en œuvre au niveau national et l'aide internationale au développement ont été déterminants pour initier et sécuriser les investissements. Cette aide massive au développement a commencé à se manifester à la fin des années 2010, suite à la multiplication des crises alimentaires (liées notamment à la volatilité des prix) ; celles-ci se traduisaient par une accélération des migrations interrégionales, notamment vers les pays les plus riches, qui éprouvaient des difficultés croissantes à les contenir et à les gérer.

Dans certaines régions, les filières agricoles et agroalimentaires ont significativement progressé dans les zones périurbaines, voire urbaines, de grandes métropoles, notamment en Afrique et en Asie, où le défi de l'intensification écologique des productions s'est inscrit dans l'amélioration de l'utilisation des flux de matière et d'énergie du système urbain. Des formes innovantes d'urbanisation ont ainsi été développées.

Certes, l'urbanisation s'est poursuivie dans tous les pays qui ont vécu une forte pression démographique, et elle a souvent continué à empiéter sur les meilleures terres, même si des efforts de densification des zones urbaines ont été réalisés dans certaines métropoles des pays qui étaient émergents en 2000 (Chine, Inde, Brésil, notamment). Ces efforts

ont, non seulement, bénéficié de l'impulsion de politiques volontaristes d'aménagement du territoire mais ont aussi résulté de la crise énergétique des années 2020-2030. Le grignotage des meilleures terres, quand il n'a pas pu être évité, s'est essentiellement traduit par une limitation de la capacité à augmenter les rendements, en repoussant les terres cultivées vers des zones de moindre potentiel agronomique.

L'essor du secteur agricole et agroalimentaire a par ailleurs fortement limité les dynamiques d'émigration contrainte pour raisons économiques alors qu'on redoutait leur explosion dans les années 2010, lors de la multiplication des périodes de crises alimentaires... Les réseaux d'interrelations nés des diasporas se sont néanmoins étendus et renforcés, jouant un rôle majeur dans la dynamique d'innovation, de diffusion de connaissances et dans le développement des capacités d'investissements, dans tous les secteurs économiques, y compris l'agriculture.

Des échanges agricoles en forte progression, régulés pour assurer une sécurité alimentaire durable

Entre 2000 et 2050, les régulations internationales se sont transformées notablement, notamment en ce qui concerne les échanges de biens alimentaires. Ils sont organisés en 2050 sur le modèle d'une libéralisation régulée par une organisation internationale, l'Organisation des Nations unies pour la sécurité alimentaire (UNOFS), dont l'objectif premier est de garantir la sécurité alimentaire. À cette fin, les règles mises en œuvre visent à éviter les distorsions de concurrence, mais comportent de fortes exceptions : 1) pour permettre aux agricultures les moins productives de développer un marché local et 2) pour tenir compte des enjeux environnementaux. Cette organisation vise en particulier à assurer une gestion des stocks et des échanges qui protège les pays très dépendants des importations agricoles contre des menaces sur leur approvisionnement. Les négociations pour aboutir à une telle construction ont été entamées suite aux crises alimentaires qui se sont multipliées à partir de 2008 et jusqu'à 2020. Elles ont bénéficié de l'effort de coordination des politiques publiques dans le champ de l'environnement (changement climatique et biodiversité en particulier). La participation active des organisations non gouvernementales (ONG) d'environnement et de développement à ces négociations, au côté des organisations professionnelles agricoles et agroalimentaires, a probablement rendu possible qu'un accord entre États soit trouvé.

La baisse tendancielle des prix réels agricoles, caractéristique du XX^{e} siècle, a évidemment pris fin avec l'important essor de la demande solvable qui a découlé de la forte pression démographique couplée au décollage économique de l'ensemble des régions du Sud pendant la première moitié du XXI^{e} siècle. Face à cette situation de prix élevés, la régulation des marchés a donc également visé à éviter la volatilité des prix, particulièrement forte au début du siècle et pour une bonne part responsable des crises alimentaires. Cela a reposé en particulier sur l'organisation des stocks régionaux et mondiaux mais aussi sur la régulation forte des marchés à terme consécutive à la refonte du système financier

international. Par ailleurs, les petits exploitants ont pu bénéficier de l'augmentation des prix plutôt que de la subir, en étant de plus en plus intégrés individuellement ou collectivement aux filières agroalimentaires.

Connaissances, recherche, formation et développement agricole : une organisation au service de l'intensification écologique

Entre 2000 et 2050, les systèmes de recherche, formation et développement dans les domaines agronomiques et environnementaux ont réussi à faire émerger et à diffuser les innovations au service de l'intensification écologique. Ces innovations ont été en partie spécifiques aux agricultures locales, mais ont aussi bénéficié de percées scientifiques plus génériques. Un certain nombre des défis que la recherche a dû relever sont liés à la capacité à articuler et à compléter des recherches centrées sur les produits, assez typiques de la révolution verte, avec des recherches sur les systèmes. L'innovation s'est organisée sur un mode interactif et souvent participatif, pour valoriser la diversité des savoirs locaux, portée par la variété des acteurs impliqués (agriculteurs, autres utilisateurs des ressources naturelles, ONG, transformateurs…).

Cet effort d'innovation aux échelles locale, régionale et mondiale a donc promu la diversité tout en parvenant à la capitaliser et à la mutualiser. L'émergence de communautés épistémiques et de pratiques très internationalisées dans les domaines de la recherche et de la gestion des écosystèmes a été déterminante à cet égard. La part de la recherche publique a été importante dans cet effort et des limites ont dû être mises à l'appropriation des connaissances, pour préserver le caractère public de certaines avancées et la dynamique d'accumulation scientifique.

Des politiques agricoles et alimentaires indissociables des politiques environnementales et de développement rural

Les innovations et les transformations des systèmes agricoles et alimentaires ont été accompagnées par des politiques agricoles et alimentaires nationales et régionales. Celles-ci sont venues appuyer la constitution de marchés régionaux dans les régions d'agriculture moins productive, en mobilisant une diversité d'instruments, acceptés dans le cadre de l'UNOFS, en particulier en matière d'accès au crédit et à l'assurance. Dans un certain nombre de pays, ces politiques agricoles ont aussi concerné la gestion du foncier, pour permettre à une population rurale en croissance de participer au développement agricole. Cela a supposé une intervention forte des États, notamment pour l'attribution des nouvelles terres mises en culture. Cela a également reposé sur des innovations en termes d'appropriation foncière pour des systèmes agrosylvopastoraux aux multiples usagers.

Les politiques publiques de développement, inspirées des politiques de développement régional mises en œuvre dès la fin du XX^{e} siècle au sein de l'Union européenne, ont aussi appuyé la structuration des systèmes agricoles et alimentaires localisés et des filières, sous forme de clusters, intégrant la transformation, l'aval, et l'agrofourniture.

Elles ont aussi concerné la recherche et le conseil agricole en matière d'intensification écologique. Dans les pays du Nord, mais aussi dans un nombre croissant de pays du Sud, des financements publics ont été dégagés non plus en appui à la production, mais en appui à la gestion des écosystèmes agricoles, qu'il s'agisse d'instruments reposant sur la multifonctionnalité de l'agriculture, ou de rémunération des services environnementaux. Ces évolutions des politiques agricoles sont apparues comme assez naturelles à la fin des années 2000, face au nécessaire renouvellement des politiques d'aides à l'agriculture.

Dans de nombreux pays de toutes les régions, les politiques nutritionnelles ont été déterminantes. Elles ont cherché à orienter les évolutions des modes de consommation ; elles ont en outre encouragé la mise en place de stratégies de diversification des produits alimentaires dans l'agriculture et l'industrie agroalimentaire. Ces politiques ont continué à comporter un volet important de communication en direction des populations mais elles se sont aussi montrées très contraignantes pour les entreprises, en matière d'information et de communication nutritionnelle.

Énergie : des ruptures technologiques au service d'un développement durable

La raréfaction des énergies fossiles et la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre ont conduit à infléchir notablement la demande et à renouveler l'offre énergétique par des investissements massifs dans la maîtrise de l'énergie, les énergies renouvelables et la pile à combustible. L'accent a été mis en particulier sur les opportunités de production distribuée et décentralisée de l'énergie ainsi que sur la valorisation des déchets et des coproduits. Le renchérissement du coût de l'énergie, qui a fortement touché l'agriculture, a conduit à rechercher des capacités d'autonomie des systèmes agricoles et alimentaires localisés en matière énergétique. C'est dans ce cadre, intégré le plus possible à la production alimentaire, que s'est développé l'essentiel de la production des agrocarburants dans le monde.

Au début du siècle, l'organisation de la production d'agrocarburants reposait beaucoup sur les compagnies pétrolières, qui se sont dirigées dès 2020 vers les agrocarburants de deuxième génération. La nécessité d'importants investissements de capitaux, notamment dans la recherche-développement, explique la concentration de ce secteur, dans lequel seuls les grands groupes agroalimentaires ou pétroliers ont investi. Si les pays en développement n'ont pas vraiment pu s'impliquer, certains pays émergents ont cherché à saisir les opportunités associées à l'exploitation des algues pour la production d'énergie, en particulier en Asie. Au total, on n'a pas vu apparaître un marché mondial des agrocarburants de première génération, les deux seuls gros producteurs ayant été le Brésil et les États-Unis, dont la production alimentait essentiellement le marché intérieur. La crise énergétique, qui a lourdement menacé dès 2020 le développement de l'Afrique subsaharienne notamment, a conduit les acteurs à développer des énergies renouvelables sur une base décentralisée.

Environnement et changements globaux : un ensemble de défis favorisant le choix de l'intensification écologique

La diffusion des techniques de l'intensification écologique tout au long de la première moitié du siècle a été motivée par une double nécessité : faire face aux changements globaux d'une part, et permettre des gains de productivité de la terre de manière durable, d'autre part. Ces technologies ont en effet permis de minimiser les impacts des pratiques agricoles sur les écosystèmes et les ressources naturelles, tant au travers de la réduction des émissions de gaz à effet de serre, que des autres dimensions environnementales (eau, biodiversité, sols…). Elles ont en outre rendu la production plus robuste aux aléas, notamment grâce à la réintroduction d'une plus grande biodiversité domestique. L'accélération du changement climatique au début du siècle a constitué une incitation déterminante au basculement technologique pour l'agriculture, pour la production d'énergie ou pour les secteurs qui en dépendent fortement.

Les impacts des systèmes agricoles et alimentaires sur les écosystèmes ont été liés de manière notable à l'augmentation des superficies cultivées au détriment des écosystèmes naturels et semi-naturels. Les tendances à la déforestation en Amazonie et dans le Bassin du Congo notamment, très fortes en 2000, n'ont pas pu être entièrement stoppées malgré les efforts d'intensification. Elles auraient notamment supposé des capacités de planification importantes de la gestion de ces espaces, parfois insuffisantes, en particulier en Afrique subsaharienne. La demande de production alimentaire et les prix élevés ont constitué une pression de plus pour la conversion de ces espaces. La préservation de la biodiversité a donc été de pair avec une capacité à innover et à mettre en œuvre des systèmes de production compatibles avec le maintien d'une biodiversité importante et d'infrastructures écologiques, en particulier pour les terres mises en culture sur d'anciennes forêts. Le rôle des systèmes agroforestiers a été majeur à cet égard, même si beaucoup d'ONG environnementales soulignent en 2050 que la perte de biodiversité a été très importante et qu'elle justifierait de sanctuariser davantage d'espaces de biodiversité sauvage.

Alimentation durable et diversité des régimes alimentaires

En 2050, les régimes alimentaires des différentes régions du monde ont convergé en matière d'apport calorique, pour se situer aux alentours de 3 000 kcal/hab./jour en disponibilité moyenne. Toutefois, des spécificités culturelles importantes ont maintenu une certaine diversité dans la répartition de ces apports entre les différentes sources d'alimentation. L'augmentation du revenu n'a ainsi pas conduit à une convergence des régimes alimentaires vers le régime occidental. Si, pour certaines régions, notamment l'Afrique subsaharienne, l'évolution des disponibilités alimentaires moyennes a reposé de manière essentielle sur le développement économique, elle a aussi tenu à des changements de comportements alimentaires dans la plupart des régions. Ainsi, par exemple, dans une région comme l'OCDE, on est passé d'une consommation calorique moyenne de plus de 4 000 kcal/hab./jour à 3 000 kcal/hab./jour. Cette véritable rupture

de tendance a reposé en particulier sur un changement des modes de consommation permettant de diminuer les pertes chez l'usager ou dans les systèmes de restauration, la part de la restauration hors des foyers s'étant stabilisée à son niveau du début du siècle dans les pays les plus riches. Cette rupture de tendance a aussi reposé sur une plus grande efficacité des politiques nutritionnelles. L'évolution des régimes alimentaires vers de moindres apports caloriques s'est faite tout en maintenant les budgets des ménages consacrés à l'alimentation au travers d'une hausse de la valeur ajoutée associée à ces produits (diversité, qualité, etc....). Cette baisse des disponibilités caloriques moyennes a aussi reflété de moindres inégalités dans les apports caloriques au sein des régions ou au sein des pays.

L'augmentation de la part animale dans les régimes alimentaires constituait une tendance lourde en 2000. Cette part a ensuite évolué de manière contrastée d'une région à l'autre, notamment en ce qui concerne le partage entre viandes rouges et viandes blanches. En Afrique, la croissance de la part animale de l'alimentation est venue surtout de la viande blanche, et les protéines ont également été apportées par les aliments d'origine aquatique. En Asie, les régimes alimentaires sont restés fortement liés aux préférences culturelles. En Chine, les viandes rouges ont pris une part croissante dans le régime alimentaire, en lien avec la croissance du revenu, tout en restant complétées par du poisson d'eau douce ou d'eau marine. En Inde, en revanche, la part de la population respectant des régimes végétariens est restée très importante. La part des produits aquatiques dans les régimes alimentaires de la plupart des régions a fortement progressé, sans cependant aller jusqu'à se substituer à d'autres sources de protéines. La consommation de ces produits a augmenté en particulier en Asie et en Amérique latine où la production aquacole a pu s'accroître largement, et dans une moindre mesure, en Afrique subsaharienne. Les produits transformés sont restés importants en aquaculture, mais la croissance de cette part dans le total s'est infléchie. Le maintien d'une certaine diversité des régimes alimentaires a aussi conduit à rechercher des solutions aux problèmes de carence en micronutriments, notamment grâce aux apports des fruits et légumes et de la variété des produits. La diminution de la part des produits bruts par rapport aux produits transformés, encore très marquée au début du siècle, s'est ralentie : c'est là un symptôme de la diversification des systèmes alimentaires. Elle tient aussi aux réglementations qui ont fortement contraint l'information et la communication nutritionnelles des firmes agroalimentaires dans les pays de l'OCDE, les incitant finalement à limiter le degré de transformation des produits, tout en continuant à proposer des produits innovants en matière de praticité et de variété. C'est aussi l'un des facteurs explicatifs de la diminution des pertes chez l'usager.

Des systèmes agricoles et alimentaires diversifiés

Entre 2000 et 2050, le modèle agro-industriel, nettement dominant au début du siècle, s'est hybridé avec des formes plus localisées des systèmes agricoles et alimentaires, reposant non seulement sur des circuits courts, mais surtout sur la diversité du vivier

de petites et moyennes entreprises agricoles et de transformation, en particulier dans les pays en développement. Dans ces pays, l'implantation des firmes multinationales agroalimentaires et de la grande distribution s'est accompagnée de diverses stratégies d'alliance et d'innovation de la part du tissu industriel et agricole local. La tendance à la standardisation, l'internationalisation et la concentration autour d'un nombre réduit de firmes multinationales s'est donc plutôt infléchie, face aux stratégies nationales et régionales mises en place pour assurer la sécurité alimentaire, mais aussi comme résultat d'un impact important de la responsabilité sociale des entreprises sur les stratégies des grandes firmes. Le secteur agroalimentaire a été particulièrement touché par ce phénomène. Les consommateurs des pays riches et émergents se sont en effet montrés de plus en plus concernés par les enjeux alimentaires, du fait de la diffusion du concept d'alimentation durable (la menace d'une épidémie d'obésité s'est traduite par la multiplication des campagnes d'information et d'éducation nutritionnelle, qui ont également joué sur la montée en puissance de la « conscience environnementale » en associant santé humaine et santé environnementale). Par ailleurs, les émeutes de la faim ont marqué les consommateurs, qui ont fait pression sur les firmes multinationales agroalimentaires, souvent via les ONG et les associations de consommateurs, quant à leur rôle particulier dans le développement économique et la réduction de la malnutrition.

Grâce aux stratégies de diversification, la tendance à la spécialisation sur un nombre restreint de produits primaires s'est renversée et la diversification des filières, des acteurs et des produits a donc été complémentaire de l'intensification écologique de l'agriculture, en permettant que la diversité des produits adaptés aux conditions écologiques locales puisse trouver des débouchés. Le tissu de petites et moyennes entreprises agricoles et alimentaires, dans toutes les régions, a réussi à constituer une véritable capacité d'innovation et de création d'emploi (souvent en zone rurale), capable de concurrencer et de coopérer avec les acteurs dominants. L'expression de cette capacité d'innovation n'a cependant été possible en 2050 qu'en maintenant une diversité des modes de gouvernance des filières et de secteurs économiques (coopératifs, partenariaux, et non seulement actionnariaux) mais aussi des territoires.

En 2050, les systèmes de production sont très diversifiés et adaptés aux conditions écologiques locales. Ils intègrent un ensemble de fonctions agrosylvopastorales et environnementales, dans des systèmes territoriaux incluant le développement d'un ensemble d'infrastructures (transport, éducation, santé, etc.), la production d'énergie, la transformation et la commercialisation. Ces systèmes sont souvent articulés avec la production de biomatériaux plutôt issus de la sylviculture, ou avec les systèmes urbains auxquels ils sont liés. Les systèmes de culture hors-sol n'ont pas joué un rôle important, en particulier parce que l'importance des investissements nécessaires à ces structures les situait hors de portée des exploitations les plus faiblement capitalistiques.

Pour ce qui concerne la production aquatique, les prix des produits sont restés élevés, car l'offre, même si elle a continué à se développer en aquaculture, a eu du mal à faire face à la demande. La production de la pêche a diminué comme résultant des efforts

internationaux de gestion des ressources marines. L'extension de l'aquaculture posait, quant à elle, des problèmes d'espace et de conflits d'usage qui ont limité celle-ci en eau douce, et c'est donc sur l'aquaculture marine qu'ont reposé les attentes. Cependant cette évolution a dû faire face à un ensemble de problèmes, que des efforts de recherche et d'innovation ont contribué à résoudre :

- la domestication des espèces les plus valorisées ;
- les conflits d'usage de l'espace même en mer ;
- la difficulté d'approvisionnement en alimentation animale d'origine marine, non substituée par des aliments d'origine terrestre qui sont trop coûteux ;
- les impacts environnementaux potentiels.

Cette aquaculture marine a progressé en particulier dans des zones tropicales particulières où l'importance de la demande et les conditions d'implantation paraissaient favorables. Ces évolutions ont en particulier pris la forme de systèmes d'intensification sur le littoral, qui ont cherché à s'intégrer au mieux dans les systèmes de production et de transformation alimentaires, avec un effort important de traçabilité et de réduction des impacts environnementaux. De plus, des efforts de recherche sur l'impact environnemental de grands élevages aquacoles en mer ont été mis en œuvre. La connaissance et la production des algues ont aussi représenté un espace de recherche et d'innovation important : la production de biomasse pour l'énergie ou pour l'alimentation en aquaculture à partir d'algues ont en effet trouvé des débouchés importants.

11 - Regards prospectifs sur les comportements alimentaires, les options technologiques et les échanges

Les scénarios présentés dans le chapitre précédent correspondent à deux trajectoires possibles pour le monde parmi la multiplicité des futurs possibles. Leur vertu est principalement de souligner l'ampleur des transformations qu'il est utile d'envisager pour les systèmes agricoles et alimentaires d'ici 2050. Ces transformations ne sont pas indépendantes les unes des autres ; les évolutions futures de la consommation et celles de la production interagiront quel que soit le scénario. Il faut donc penser ensemble toutes ces transformations, de manière cohérente, et dans toutes leurs dimensions techniques, sociales, culturelles, économiques et politiques.

Après avoir construit deux scénarios illustrant la variété des évolutions possibles et leurs interdépendances, il s'agit, dans ce chapitre, d'aborder les questions suivantes : Quelles évolutions sont-elles possibles ? Nécessaires ? Souhaitables ? Si l'exploration prospective présentée dans les chapitres précédents ne permet généralement pas de répondre de manière univoque à ces questions, elle fournit un cadre intéressant pour discuter des options les plus souhaitables, des options nécessaires ou des options les plus réalisables.

À ce titre, ce chapitre constitue une ouverture et propose, à partir de quelques points d'entrée majeurs, d'utiliser les scénarios Agrimonde pour structurer une discussion d'ordre stratégique sur l'avenir des systèmes agricoles et alimentaires du monde. Pour tirer les enseignements principaux de l'analyse prospective réalisée, des lectures possibles des scénarios sont proposées, qui ne correspondent pas nécessairement à un consensus du groupe de travail Agrimonde, selon trois points d'entrée : les comportements alimentaires, les options technologiques et les échanges.

Les comportements alimentaires en question : les ruptures envisagées sont-elles plausibles ?

Jean-Marc Chaumet, Francis Delpeuch, Gérard Ghersi et Jean-Louis Rastoin

Le jeu d'hypothèses sur les régimes alimentaires retenu dans le scénario Agrimonde 1 repose beaucoup sur des ruptures de tendances. Il suppose notamment que l'Afrique subsaharienne aura connu un développement économique rapide permettant à ses habitants un accès à l'alimentation équivalent (en moyenne et en kilocalories, à la fois d'origines végétale et animale), à celui des autres régions du monde alors qu'il correspondait en 2000 à respectivement 88 % calories d'origine végétale et 28 % calories d'origine animale de la disponibilité moyenne mondiale. Par ailleurs, le scénario Agrimonde 1 repose sur des ruptures majeures dans les comportements alimentaires ; c'est sur ces ruptures qu'un regard est proposé dans cette section.

Pour simplifier, Agrimonde 1, dans sa composante alimentaire, sous-tend deux types de ruptures. Ce scénario suppose, d'une part, que le niveau moyen de disponibilités pour la consommation alimentaire (en kcal) baisse dans les pays riches[93], sans que cela soit dû à une baisse du niveau moyen de revenu par tête[94]. D'autre part, il suppose, dans les pays en développement, que l'augmentation du niveau moyen de revenu par tête se traduise par une augmentation des disponibilités qui soit à la fois suffisante pour contrer les risques de sous-nutrition et modérée pour que la transition nutritionnelle ne se traduise pas par une nouvelle progression de l'obésité.

Les projections à long terme sur les consommations alimentaires au niveau mondial ou de grandes régions reposent généralement sur une fonction qui lie la consommation alimentaire aux revenus. C'est notamment le cas des scénarios du *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA). Ainsi, *Global Orchestration* imagine une forte hausse des consommations alimentaires, en particulier dans sa part d'origine animale, comme conséquence d'un taux de croissance économique mondial très élevé, notamment dans les économies des régions aujourd'hui qualifiées d'émergentes (MEA, 2005b). La possibilité d'une rupture par rapport à la prolongation de ces tendances est une des questions importantes soulevées par l'analyse systématique des hypothèses sur l'évolution des comportements alimentaires présentées dans le chapitre 5. Il est donc important de revenir sur les principaux éléments de plausibilité ou de questionnement concernant cette rupture.

93. En tout cas dans les pays riches qui ont dépassé la moyenne mondiale située aujourd'hui, comme en 2050 dans Agrimonde 1, à 3 000 kcal/hab./j.

94. Le niveau moyen de disponibilités pour la consommation considéré ici correspond à des disponibilités et non à l'ingestion d'aliments ; les disponibilités étant en partie ingérées et en partie perdues. En termes d'ingestion, les besoins énergétiques nets des hommes se situent entre 2 000 et 3 000 kcal/j selon le sexe, la taille, le poids et l'intensité de l'activité physique.

Dans une première section, la relation qui lie consommation alimentaire et revenus est explicitée ; les facteurs liés aux évolutions démographiques qui vont influencer cette relation à l'horizon 2050 y sont également discutés. Dans les sections qui suivent, d'autres facteurs susceptibles de transformer les comportements alimentaires dans le sens du jeu d'hypothèses d'Agrimonde 1 sont explorés ; ils concernent la prise en compte individuelle et collective des enjeux environnementaux et nutritionnels associés à la consommation alimentaire.

La relation consommation alimentaire – revenus et ses déterminants

Lorsque les revenus et l'offre le permettent, l'évolution de la consommation alimentaire se caractérise par trois phases (Combris, 1990). La première phase est une phase de croissance quantitative de la consommation de tous les aliments jusqu'à un niveau de saturation calorique.

La deuxième phase se caractérise par une évolution qualitative centrée sur la structure de la ration : la transition nutritionnelle (Popkin, 1993). Elle s'appuie sur trois principaux facteurs :

- l'augmentation des niveaux de vie dans les pays en développement qui tend à augmenter la consommation alimentaire et surtout à rapprocher les niveaux de consommation de produits carnés entre pays ;
- l'urbanisation. La part des urbains dans la population mondiale tend à augmenter et toutes les prévisions démographiques prévoient un pourcentage d'urbains beaucoup plus élevé en 2050[95]. Cette évolution a une influence sur la consommation alimentaire et sur les modes de consommation. Le régime alimentaire des citadins est généralement plus diversifié que celui des ruraux, avec une consommation plus importante d'aliments transformés. Le poisson, les légumes frais, la viande, la volaille, le lait et ses dérivés sont plus souvent consommés par les citadins. Mais cette consommation est souvent déséquilibrée sur le plan nutritionnel, trop riche en calories, proportion trop élevée de graisses saturées et de sucres. Lié à une activité physique comparativement plus faible que les ruraux, ce mode de consommation entraîne des risques d'obésité et de maladies cardiovasculaires. L'urbanisation va également souvent de pair avec une réduction du temps passé à la préparation des repas, une augmentation du nombre de repas pris à l'extérieur du domicile et une perte de savoirs culinaires (Latham, 1997) ;
- l'industrialisation des systèmes alimentaires qui, dans son volet consommation, se décline en une hausse de la proportion d'aliments manufacturés et ultratransformés (prêts à cuire ou à consommer), l'importance des emballages, une augmentation de produits animaux via des élevages hors-sol, la prédominance des supermarchés dans le commerce de détail et des chaînes de *fast-food* dans la restauration hors foyer… Toutefois,

95. Jusqu'à près de 70 % selon le scénario démographique moyen de l'Organisation des Nations unies (ONU), la population urbaine passant de 2,8 milliards en 2000 à 6,4 milliards en 2050 (UN, 2007).

l'activité de transformation permet une conservation des produits efficace, limitant les pertes après abattage ou récolte.

Enfin, la troisième phase est marquée par une stationnarité de la structure macronutritionnelle de la ration. Ainsi, la richesse des pays se traduit, à partir d'un certain seuil, par un plafonnement du niveau des disponibilités alimentaires par personne, qui n'est pas associé à une baisse des dépenses affectées à l'alimentation mais à l'achat d'aliments plus sophistiqués (préparation et conditionnement plus élaborés ou aliments de meilleure qualité) et donc plus chers pour un même apport calorique.

Cette non-linéarité de la fonction qui lie la consommation aux revenus se trouve accentuée par d'autres facteurs[96]. D'une part, les besoins en calories des personnes âgées étant moindres que ceux d'une population adulte ou en croissance, le vieillissement de la population entraîne une diminution des consommations alimentaires[97]. Cet effet aura notamment une importance non négligeable en 2050 du fait de l'augmentation de la part des personnes âgées (de plus de 60 ans) dans la population mondiale. Selon les estimations moyennes de l'ONU, le nombre de personnes âgées devrait passer de 610 millions en 2000 (soit 10 % de la population) à plus de 2 milliards au niveau mondial en 2050 (soit 21 % de la population) (UN, 2006). Toutes les régions seront concernées, y compris l'Afrique, même si ce continent aura toujours le plus faible taux de personnes âgées. D'autre part, certains régimes alimentaires restent stables malgré le développement du pays et l'enrichissement des ménages. Le Japon en est un exemple : ce pays connaît un régime alimentaire caractérisé par une disponibilité d'environ 2 800 kcal/hab./j, stable depuis les années 1960.

Agrimonde 1 comme scénario de réduction des pertes et de consommation durable

Les hypothèses du scénario Agrimonde 1 relatives à la consommation alimentaire pourraient traduire, dans l'esprit de ce scénario, une lutte efficace contre les pertes après mise à disposition du consommateur final. On peut en effet imaginer que certaines évolutions comportementales, bien qu'encore assez marginales aujourd'hui, se généralisent d'ici à 2050. Depuis quelques années, en effet, une prise de conscience individuelle et collective des conséquences parfois néfastes des actes de chacun dans la vie quotidienne

96. Pour être complet, il faut souligner une limite méthodologique à l'exercice entrepris : le modèle quantitatif ne prenant pas en compte les prix des produits, il ne nous a pas été possible de nous interroger sur l'influence des prix des denrées sur les régimes alimentaires des consommateurs. Cependant, l'inflexion des tendances de consommation dans les pays de l'OCDE serait compatible avec un scénario dans lequel le niveau de prix reste élevé, notamment dans le cas de la viande.

97. Toutefois, les recommandations nutritionnelles pour les personnes âgées conduisent à une réduction de l'apport énergétique minime, le risque d'une réduction trop importante étant essentiellement la dénutrition. En particulier, la métabolisation des protéines perdant en efficacité avec l'âge, l'apport de protéines doit être maintenu au moins égal à celui des hommes ou femmes adultes, et doit être en grande partie constitué de protéines animales, plus facilement métabolisées.

sur l'environnement émerge lentement dans de nombreux pays à travers le monde. Une attitude plus responsable, entraînant des comportements durables, est encouragée par des acteurs de la société civile comme par les pouvoirs publics qui tentent de sensibiliser les citoyens. Une généralisation de cette prise de conscience du public et des décideurs politiques dans les pays riches et dans les pays émergents est une condition de la réalisation des ruptures envisagées dans le scénario Agrimonde 1.

De nombreux gouvernements mettent en place des mesures pour inciter à des consommations plus durables (OECD, 2008). Le Danemark a par exemple augmenté le prix de l'eau courante de 150 % par l'intermédiaire de plusieurs taxes, ce qui a permis de réduire la consommation d'eau. Dans de nombreux pays, des labels obligatoires de niveau d'efficience énergétique ont été appliqués à un grand nombre d'équipements électriques ménagers. L'Italie, qui préside la *Marrakech Task Force on Education for Sustainable Consumption*, a mis sur pied un réseau d'écoles du futur qui enseignent et mettent en œuvre la durabilité sociale et environnementale. Les citoyens participent directement à cette sensibilisation à travers la création d'associations prônant des comportements davantage durables.

Des volontés de consommer plus durablement se développent également à travers les systèmes alimentaires localisés, permettant de réduire les coûts de transports et les productions à contre-saison et diminuant ainsi les dépenses énergétiques et les impacts sur l'environnement. Une des formes de concrétisation de ces principes a pris naissance dans le mouvement *locavore*, lancé aux États-Unis en 2005, qui encourage les consommateurs à acheter des produits frais et de saison issus de la production locale, dans un rayon de 150-200 km.

Même si la recherche, dans quelques pays, commence à se saisir de cette question en lançant des programmes sur les comportements de consommation durable, notre connaissance des interactions entre consommations, notamment alimentaires, et développement durable reste assez parcellaire. Ainsi, par exemple, l'impact environnemental global comparé de systèmes alimentaires très localisés ou au contraire très internationalisés pose des questions complexes encore peu explorées alors qu'elles apparaissent déterminantes pour apprécier la durabilité de différentes options pour le futur.

Agrimonde GO dans la tendance d'une forte progression des maladies chroniques liées à l'alimentation

Les maladies non transmissibles liées à l'alimentation deviennent peu à peu un sujet central d'actualité qui préoccupe aussi bien les citoyens que les gouvernements, dans toutes les régions du monde, qui s'alarment de l'augmentation rapide des dépenses de santé et des coûts économiques et sociaux de ces maladies (Encadré 11.1). Agrimonde GO, en tant que scénario tendanciel en matière de régime alimentaire, porte le risque d'une explosion de ces coûts.

En 2005, 1,3 milliard d'adultes dans le monde étaient en surpoids, dont 400 millions d'obèses. Si les tendances récentes se poursuivent, en 2030 ces chiffres pourraient atteindre

3 milliards et 1 milliard respectivement (Kelly *et al*., 2008). Selon une étude récente, 17 % des Français seraient obèses et 32 % en surpoids (USEN, 2007). Aux États-Unis, le pourcentage d'adultes en surpoids est passé de 47 % en 1980 à 64 % en 2000 et celui des obèses de 15 % à 31 %[98]. Dans le même temps, la proportion d'enfants et d'adolescents en surpoids a triplé. Au rythme actuel, la France pourrait compter 20 % d'obèses en 2020 (INSERM, TNS Healthcare, Roche, 2003), et les États-Unis plus de 40 % (Ruhm, 2007).

Ce qui est parfois qualifié d'épidémie se répand aussi de plus en plus dans les pays en développement, où 800 millions de personnes sont en surpoids, dont près de 200 millions d'obèses (Kelly *et al*., 2008), suite à la diffusion du modèle de consommation occidental et également du fait des politiques publiques, les aides alimentaires ayant souvent consisté en un apport d'aliments obésogènes (Delpeuch *et al*., 2009). Ainsi, 18 % de la population uruguayenne et 25 % des Égyptiens seraient obèses[99]. L'obésité coexiste avec une sous-nutrition chronique et des carences en micronutriments ; il s'agit du « double fardeau » que connaissent la plupart des pays en développement (WHO/FAO, 2003). En outre, bien que les causes n'en soient pas complètement élucidées, l'impact du diabète et de l'hypertension chez les personnes en surpoids survient plus rapidement dans les pays en développement que dans les pays riches, les populations des pays en développement montrant une capacité accrue de stockage des graisses (Basdevant, 2003).

Encadré 11.1 – Surpoids et Obésité : définitions, causes, facteurs de risque et troubles associés

Le surpoids et l'obésité se définissent comme une accumulation anormale ou excessive de graisse corporelle qui peut nuire à la santé. L'indice de masse corporelle (IMC) est une mesure simple du poids par rapport à la taille couramment utilisée pour estimer le surpoids et l'obésité chez les populations et les individus adultes. Il correspond au poids divisé par le carré de la taille, exprimé en kg/m^2. Il doit toutefois être considéré comme une indication approximative car il ne correspond pas nécessairement à la même masse graisseuse selon les individus. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) définit le surpoids comme un IMC égal ou supérieur à 25 et l'obésité comme un IMC égal ou supérieur à 30.

La cause fondamentale de l'obésité et du surpoids est un déséquilibre énergétique entre les calories consommées et dépensées. La fréquence de plus en plus grande de l'obésité et du surpoids dans le monde est due à plusieurs facteurs, dont :

• un changement d'alimentation observé à l'échelle mondiale à travers un excès d'apport quantitatif et qualitatif. Un apport calorique excessif par rapport aux besoins entraîne, sur une longue période, une prise de poids significative. Une plus grande consommation d'aliments très caloriques, riches en graisses et en sucres mais pauvres en vitamines, en minéraux et autres micronutriments, joue un rôle

98. NHANES, Data on the Prevalence of Overweight and Obesity Among Adults.

99. World Health Statistics, WHO.

majeur dans l'apparition d'un déséquilibre. Les troubles concernant la prise alimentaire, c'est-à-dire la déstructuration des rythmes des repas, sont incompatibles avec une alimentation régulière, et favorisent la prise de poids ;
• la tendance à diminuer la dépense énergétique. Il s'agit de la sédentarité au sens large, et du passage d'une activité physique importante à la sédentarité ; la tendance à faire moins d'exercice physique en raison de la nature de plus en plus sédentaire de nombreuses formes de travail et de loisir, de l'évolution des modes de transport et de l'urbanisation est de plus en plus répandue.

Mais d'autres facteurs peuvent également intervenir :
• les facteurs génétiques. Même si de nombreuses incertitudes demeurent sur la part de l'hérédité dans la survenue de l'obésité, certains chercheurs pensent que la génétique explique une partie de la variance de l'indice de masse corporelle (IMC). Les modalités d'interaction des facteurs génétiques avec différents facteurs de l'environnement (notamment la nutrition) ne sont pas encore élucidées mais plusieurs gènes sont vraisemblablement impliqués ;
• les facteurs psychologiques. Certains états psychologiques, comme la dépression ou le stress, peuvent agir sur la prise de poids. La mesure des conséquences de ces états est difficile car l'obésité en elle-même contribue à développer certains traits psychologiques ;
• les facteurs sociaux et culturels. Dans tous les pays riches, une relation entre la pauvreté et l'obésité peut être observée. L'explication pourrait se trouver dans de mauvaises habitudes alimentaires et une inégalité d'accès aux soins.

Le surpoids et l'obésité entraînent de graves conséquences pour la santé. Les risques augmentent progressivement avec l'IMC. Un indice de masse corporelle élevé est un important facteur de risque de maladies chroniques comme :
• les maladies cardiovasculaires (principalement cardiopathie et accident vasculaire cérébral), qui sont déjà la première cause de décès dans le monde (17 millions de morts par an) ;
• le diabète de type 2, qui a rapidement pris les proportions d'une épidémie mondiale. L'OMS prévoit que les décès dus au diabète augmenteront de plus de 50 % dans le monde au cours des dix prochaines années ;
• les troubles musculo-squelettiques, en particulier l'arthrose ;
• certains cancers (endomètre, sein et colon).

Source : site Internet de l'Organisation mondiale de la santé <www.who.int>

Agrimonde 1 comme scénario de lutte efficace contre les maladies chroniques liées à l'alimentation

Les hypothèses d'Agrimonde 1, et les changements de comportement qu'elles supposent, correspondent à un scénario dans lequel la lutte contre ces maladies est non seulement devenue une priorité centrale mais est aussi parvenue à ses fins, à côté bien sûr de la lutte contre la faim et la sous-nutrition. L'ampleur de ce dernier fléau est encore et

malheureusement désastreuse et croissante au début du XXIe siècle, tant au niveau mondial qu'à celui des pays, y compris dans ceux de l'OCDE, malgré les divers engagements et politiques pour les éradiquer.

Ces dernières années ont vu les actions politiques se multiplier pour tenter de prévenir les maladies liées à l'alimentation, qui pourraient aller dans le sens d'une alimentation plus saine envisagée dans le scénario Agrimonde 1. On peut mentionner à titre d'exemple la France, les États-Unis, le Royaume-Uni, le Canada, la Tunisie et la Chine. La France a ainsi créé le Programme national Nutrition santé couvrant les périodes 2001-2006, puis 2006-2010. Ce programme vise dans sa deuxième version trois objectifs, premièrement de prévention par l'éducation nutritionnelle, deuxièmement de dépistage précoce et de prise en charge des troubles nutritionnels (obésité, dénutrition), et enfin de ciblage sur les populations défavorisées. Ces objectifs sont associés à des indicateurs quantitatifs à 5 ans (- 20 % de prévalence de surpoids, - 25 % de « petits consommateurs de fruits et légumes[100] », - 5 % de cholestérolémie moyenne, + 25 % d'individus pratiquant un exercice physique), organisés en neuf repères et suivis de manière régulière (Ministère de la santé et des solidarités, 2006).

Les États-Unis ont lancé le programme CARE (*Communication Action Research and Evaluation*), projet dont les actions se déroulent à différents niveaux : fournir des informations et éduquer les personnes sur les problèmes de santé, mettre en œuvre des actions (notamment dans les écoles) et mener des recherches pour mieux comprendre les causes et les traitements de l'obésité (Crombie *et al.*, 2005).

Le Gouvernement anglais a lancé début 2008 une campagne contre l'obésité centrée sur l'éducation nutritionnelle des enfants et adolescents.

Le Canada a édité le *Canada's Food Guide* et mis en place en 2007 des crédits d'impôts pour les ménages dont les enfants pratiquent certains sports.

La Tunisie, dès 1995, a lancé une action originale dans le contexte de l'époque, le Programme national d'alimentation et de nutrition, dont l'objectif était de « réaliser durablement le bien-être nutritionnel des Tunisiens » en intégrant un volet nutritionnel dans les politiques de développement.

La Chine a commencé à prendre des mesures en publiant un *National Plan of Action for Nutrition* ainsi que des *Dietary Guidelines for Chinese Residents* (d'Arcy *et al.*, 2006). Un système national de prévention systématique de certaines maladies (hypertension, diabète de type 2, et certains cancers) est également en place depuis peu dans ce pays.

La situation nutritionnelle des populations préoccupe également les organisations intergouvernementales. Ainsi, en 2003, l'OMS et l'Organisation des Nations unies pour l'agriculture et l'alimentation (FAO) ont publié un rapport conjoint intitulé *Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases* (WHO et FAO, 2003), sur la base duquel l'Assemblée

100. C'est-à-dire de consommateurs ne mangeant pas suffisamment de fruits et légumes au regard des recommandations nutritionnelles.

mondiale de la santé a adopté en 2004 une stratégie globale sur l'alimentation, l'exercice physique et la santé.

Pourtant, les politiques lancées par les gouvernements pour prévenir et lutter contre les maladies non transmissibles liées à l'alimentation semblent avoir eu une faible efficacité jusqu'à présent. Ainsi, l'État français a lancé en 2001 le Programme National nutrition santé dans le but de diminuer la prévalence de l'obésité en France à échéance 2005. Or, si l'obésité et le surpoids chez les enfants de 7 à 9 ans semblent avoir stagné (Salanave *et al.*, 2008), une étude montre qu'en 2009, l'obésité des adultes a progressé en France, par rapport à 2000 (INSERM, TNS Healthcare, Roche, 2009). L'impact des programmes nutritionnels publics est vraisemblablement dépendant des efforts budgétaires consentis. Or, le deuxième PNNS est doté de 47 millions d'euros, somme très modeste en comparaison des 5 milliards dépensés chaque année en publicité par les grandes firmes agroalimentaires. En Tunisie, l'Institut national de nutrition et de technologie alimentaire, chargé de mettre en œuvre le Programme national d'alimentation et de nutrition, faute de moyens suffisants, s'est limité à la réalisation d'enquêtes nutritionnelles, d'enseignements dans le système scolaire et d'émissions radiophoniques de sensibilisation (Dekhili, 2004). Il y a donc, là encore, un écart entre des intentions louables et des réalisations qui restent limitées et donc à faible impact sur la santé publique.

L'évaluation des politiques est difficile, celle-ci portant le plus souvent sur le bilan quantitatif des actions menées ou la description de processus. Les évaluations s'engagent rarement dans l'étude des modifications de comportement ou l'utilisation d'indicateurs médicaux (Combris *et al.*, 2008). Outre cette difficulté liée à l'évaluation, la mise en œuvre des politiques rencontre de nombreuses difficultés ; il est, par exemple, admis que la lutte contre l'obésité se heurte au nombre et à la variété des facteurs pouvant expliquer cette maladie (Encadré 11.1) et demande donc des politiques à plusieurs niveaux d'intervention (Dériot, 2005). Par ailleurs, les industries agroalimentaires pèsent également sur le comportement des consommateurs et leurs messages ne sont pas toujours compatibles avec les objectifs de santé publique.

Finalement, d'une manière plus générale, les interventions publiques dans les pays développés, peu nombreuses en fin de compte, ont surtout porté sur l'information, l'éducation et la communication et ne semblent pas avoir radicalement changé les modes de consommation des citoyens qui conservent dans leur majorité les mêmes habitudes alimentaires. Des actions seulement fondées sur la sensibilisation et l'éducation ne sont donc pas suffisantes pour faire changer les comportements, une modification de l'environnement devenu « obésogène » devrait être une des cibles des politiques (Swinburn et Egger, 2002). On assiste ainsi dans les pays développés à une lente prise de conscience des conséquences des régimes alimentaires actuels sur la santé, et donc un changement relativement lent des habitudes alimentaires. Cette prise de conscience est, de plus, encore très difficile à envisager dans les pays en développement où la réussite sociale signifie souvent abondance et sédentarité et où l'information nutritionnelle est encore très peu diffusée.

Un des défis du scénario Agrimonde 1 est donc bien de trouver des formes d'action plus efficaces pour impulser la rupture envisagée dans les tendances de consommation alimentaire. Et pour cela, des avancées déterminantes de nos connaissances sont nécessaires, notamment pour mieux comprendre la complexité des comportements alimentaires et de leur relation à la santé et à l'environnement, et ce qui est susceptible de les infléchir.

Options pour l'intensification écologique : changements techniques, sociaux et territoriaux

Bernard Hubert et Tévécia Ronzon

Il est clair que dans l'état actuel des choses, la notion d'intensification écologique recouvre plutôt des options techniques à développer qu'un corpus de procédés établi et directement diffusable. Il peut alors très vite apparaître que ces options dites techniques, pas moins que d'autres choix techniques dans d'autres domaines que l'agriculture, recouvrent des options sociales, économiques, spatiales, politiques qui ne sont pas anodines et n'ont probablement pas encore été suffisamment explorées. On sait par contre assez bien quelles sont les options qui ont accompagné le processus de rationalisation (« modernisation ») des agricultures nord-américaines et européennes, puisque leurs effets et conséquences sont désormais connus, même s'ils n'étaient pas tous ni clairement énoncés ni d'ailleurs délibérément intentionnels. Cette connaissance nous permet toutefois de clarifier quelles sont les conditions qui doivent accompagner le choix de telle ou telle option… C'est alors avec ce bagage et sur la base de l'ouvrage de Michel Griffon, *Nourrir la planète*, que le groupe de travail Agrimonde a choisi d'explorer les possibilités d'une intensification dite écologique (Conway, 1998) et les différentes réalités que cela peut recouvrir selon les régions ou les écosystèmes considérés (Griffon, 2006).

L'intensification écologique en tant qu'option technique

Tout d'abord, revenons à l'intensification écologique, proprement dite, en tant qu'option technique qui se conçoit comme une alternative au développement tendanciel de l'agriculture. Celui-ci a en effet reposé sur la substitution du capital au travail grâce à la mécanisation et à un usage important d'énergie (d'origine fossile), sur une artificialisation des conditions de production visant à se dégager des contraintes des processus naturels par l'apport d'intrants manufacturés (fertilisants, produits phytosanitaires, aliments du bétail, etc.), sur la sélection génétique de variétés végétales (distinctes, homogènes et stables) et de souches animales améliorées, etc. Il s'agirait alors de revenir sur certains de ces choix pour concevoir une agronomie qui soit plus proche d'un pilotage des processus écologiques que de la recherche d'une maîtrise la plus avancée possible du process de production. Ce nouvel agenda aligne ainsi une moindre consommation énergétique de produits d'origine fossile, une meilleure valorisation de la capacité des sols à

mobiliser la matière organique par des associations et des successions culturales raisonnées et par de nouvelles techniques de travail du sol, une lutte contre les ravageurs fondée sur la protection intégrée (utilisation d'auxiliaires des cultures, mélanges d'espèces et de variétés, organisation des parcellaires et du territoire, successions végétales, etc.), une plus grande flexibilité et adaptabilité des espèces cultivées ou élevées, ainsi qu'une meilleure résistance aux maladies, en s'appuyant sur des populations diversifiées et non pas sur des génomes homogènes, etc. Bien sûr, tout cela n'est pas encore bien établi et nécessite recherches et expérimentations, tant scientifiques que paysannes… Il ne s'agit pas non plus pour ceux qui la prônent de revenir à une agriculture archaïque, mais de s'appuyer, quand cela est possible sur les avancées techniques susceptibles de renforcer de tels objectifs : sélection assistée par marqueurs, biotechnologies, techniques de travail du sol, adéquation des paquets techniques aux conditions écologiques microlocales, mécanisation et traction animale, etc. Il est difficile aujourd'hui – sans un inventaire précis des résultats des expériences déjà disponibles – de savoir quels rendements peuvent être obtenus. Le scénario Agrimonde 1 propose des objectifs à atteindre, en deçà desquels de telles orientations resteront totalement utopiques… Les options sont ouvertes, les principes commencent à être connus, les impératifs environnementaux se précisent, la menace du changement climatique se dessine, les savoirs sont déjà là pour certains – et pas seulement dans le monde de la recherche – , certains programmes nationaux (comme le programme SYSTERRA de l'Agence nationale de la recherche en France) ou internationaux [comme certains des *Challenge Programmes* du CGIAR (Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale) ou comme l'y invite *l'International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development* (IAASTD) (IAASTD, 2009)] y incitent vigoureusement… d'autant que de telles nouvelles options techniques comportent des dimensions sociales, économiques et spatiales non négligeables.

L'intensification écologique en tant qu'option d'organisation sociale et spatiale

La question de la frontière agraire, qui paraissait un peu oubliée, revient à l'ordre du jour, de manière renouvelée. À la première frontière, bien connue depuis le Néolithique, celle de la défriche et de la mise en culture des « terres vierges », s'en est inexorablement ajoutée une deuxième depuis un peu plus d'un siècle, celle du développement urbain et des infrastructures. Là, les réglementations et le marché foncier font la loi, et il est bien rare que la valorisation agricole puisse faire front aux autres spéculations ou décisions d'intérêt général. Enfin, les nouveaux enjeux environnementaux et sociaux poussent à considérer une troisième frontière, interne au monde agricole et reposant, celle-ci, sur la manière même de concevoir les pratiques de culture et d'élevage.

La question du développement urbain a été particulièrement abordée pour les régions Asie et Afrique du Nord - Moyen-Orient dans le scénario Agrimonde 1. Effectivement, en 2050, ces deux régions combineront les caractéristiques d'avoir atteint les limites de leur potentiel cultivable et d'avoir connu une véritable explosion démographique, probable-

ment motrice d'une urbanisation forte, autant dans les espaces ruraux qu'aux abords des grandes villes. Il en résultera alors une concurrence accentuée entre espace urbanisé et espace agricole pour les ressources foncières et naturelles (eau potable, bois de chauffe…), sans compter les tensions sociales qui peuvent en découler. Il est donc probablement temps de raisonner autrement ce que serait une véritable agriculture périurbaine et urbaine, qui ne serait pas une concurrente, vaincue d'avance, de l'extension résidentielle ou industrielle. À l'inverse, elle contribuerait au maillage du paysage des villes par des espaces dédiés à la production, non sans poser toutefois des questions à traiter sur la réhabilitation et la conservation des sols pollués par des déchets et des installations antérieures, voire tout simplement soumis aux effets et conséquences des activités urbaines diverses. Elle ne serait pas non plus sans interpeller les dimensions organisationnelles de la mise en marché et de la distribution des biens alimentaires, par la création de circuits courts, échappant pour la plupart aux opérateurs habituels de leur commercialisation. De tels circuits courts pourraient résulter soit de la création de marchés « traditionnels » de proximité reliant ainsi consommateurs urbains et producteurs du voisinage, soit même, ainsi qu'on le constate en Europe, dans certaines villes d'Amérique du Nord, ou dans des pays émergents comme le Brésil, de nouvelles formes de conventionnement direct entre des groupes de consommateurs et des producteurs sur la base de cahiers des charges et de prix garantis définis à l'avance conditionnant un engagement d'approvisionnement des ménages concernés sur toute une campagne de production.

La première frontière, celle de la défriche et de l'emprise sur la nature, est l'objet de deux conceptions se différenciant essentiellement par la capacité à préserver les écosystèmes et leurs ressources naturelles et par la manière avec laquelle cette question est abordée dans l'espace.

D'un côté, les défenseurs de l'intangibilité de cette frontière le font de nos jours au nom de la déclinaison locale d'enjeux environnementaux globaux. Les questions de biodiversité, de protection des sols, de préservation des ressources en eau et de leur qualité, le ralentissement du changement climatique par la fixation du carbone, justifient en effet que l'on arrête de détruire les grandes forêts de la planète (Amazonie, Bassin du Congo…) et de drainer les zones humides pour leur mise en valeur agricole[101]. Pour ceux qui portent ces idées, il faut donc alors intensifier sans toucher à la frontière de façon à protéger des espaces sanctuarisés, et promouvoir si possible une agriculture plus « propre » sur les espaces qui lui sont dédiés, à l'image de l'éco-agriculture prônée par l'UICN (Union internationale pour la conservation de la nature), par exemple (Mc Neely et Scherr, 2003). Selon ce point de vue, les services des écosystèmes contribueront, en partie, à assurer une compensation et une garantie vis-à-vis de quelques grands équilibres planétaires, dans l'hypothèse de dérapages techniques divers (contaminants biologiques et abiotiques) sur l'espace agricole, face au défi technologique que représente le fait de nourrir, à l'horizon

101. Sauf éventuellement compensation comme cela se pratique aux États-Unis dans le cadre du *mitigation banking* (www.mitigationbanking.org).

de 2050, 9 milliards d'habitants sur la planète. Même s'il ne s'agit pas aujourd'hui de présenter cette frontière comme une réserve foncière, la question se posera de toute évidence pour la taïga, quand la disparition du pergélisol attisera les convoitises pour la « mise en valeur » de ces sols regorgeant d'une matière organique stockée depuis les dernières glaciations et qui ne demande qu'à libérer – au passage – du CO_2.

Pour les tenants de l'agroécologie de l'École californienne[102], la réponse relève, en quelque sorte, de l'identification d'une troisième frontière, interne celle-ci au monde agricole, qui supposerait de revisiter les conceptions mêmes et les pratiques de l'activité agricole (Altieri, 1987). Ils invitent ainsi à penser autrement cette tripartition du monde entre la ville où se concentre la grande majorité de la population, l'espace rural dédié à la production agricole ou forestière et les espaces naturels garants d'une offre de nature comme de la préservation des grands équilibres planétaires. Il s'agit alors de concevoir une diversité et une complémentarité de formes d'agriculture reposant sur des savoirs et des pratiques, des modèles techniques et des circuits de commercialisation qui se singulariseraient selon les productions, les situations géographiques, les formes d'action publique, les valeurs culturelles, les engagements sur un mode individuel ou collectif. De telles agricultures pourraient mailler les espaces urbains, pénétrer les lisières forestières pour y introduire des mosaïques écologiques inédites, inventer des façons de produire davantage inspirées de l'écologie que de la chimie. De telles agricultures réhabiliteraient la diversité et la variabilité du matériel génétique animal et végétal aussi bien que celles des sols, et sauraient s'accommoder des pentes, des bas-fonds, des lisières, des étages et des strates boisées, pour les respecter tout en produisant… et en se reproduisant.

Dans le scénario Agrimonde 1, nous n'avons pas opté *a priori* pour l'une ou l'autre de ces deux conceptions. Nous nous sommes plutôt exercé à confronter chaque option au contexte régional considéré pour ne retenir que celle qui nous paraissait le mieux répondre aux principes fondamentaux du scénario. Ainsi, selon les régions, l'application du concept d'intensification écologique a pu prendre des formes différentes se distribuant entre les deux pôles qui viennent d'être présentés. Dans certains cas, le scénario Agrimonde GO a pris l'option opposée à celle du scénario Agrimonde 1, mais c'est bien l'analyse de ces situations contrastées, mais justifiées, qui a permis d'explorer plus avant la notion d'intensification écologique et ses implications environnementales, économiques et sociales (Chapitre 9).

Le modèle « ségrégationiste » : intensifier les systèmes de production et protéger les espaces naturels

Le premier modèle, que nous pourrions qualifier de « ségrégationniste », sépare ainsi ce qui peut être cultivé, de ce qui ne doit pas l'être du point de vue de la protection de

102. On citera entre autres l'Université de Berkeley (*Department of Environmental Science, Policy and Management*), celles de Santa Cruz (*Center for Agroecology and Sustainable Food System*), de Santa Clara (*Environmental Studies Institute*), et de Davis (*Agricultural Sustainability Institute*).

l'environnement, dans lequel il s'agira néanmoins de gérer des processus « naturels ». Cette situation est particulièrement bien illustrée dans le scénario Agrimonde GO par les choix réalisés pour la région latino-américaine et qui peuvent se résumer en une stabilisation des surfaces forestières (perte de seulement 1 % de la surface en forêt de 2000), compensée par des gains de rendements élevés sur les espaces cultivés (doublement en 50 ans). Dans la région OCDE, le scénario Agrimonde 1 présente une version plus modulée de ce modèle ségrégationiste. Effectivement, le reboisement observable entre 2000 et 2050 marque bien la volonté de préservation des espaces naturels. Cependant, les possibilités réduites d'intensification des systèmes de culture conduisent au grignotage des surfaces pâturées.

La gestion des espaces naturels du modèle dit ségrégationniste a déjà inspiré toute une littérature – d'origine scientifique, mais également des organisations non gouvernementales impliquées dans ces propositions – au sujet des approches qui relèvent des concepts d'*Ecosystem management* (nous n'entrerons pas ici dans le détail des nombreuses variantes). Elles visent à piloter les dynamiques d'un monde dont l'homme est étranger et qu'il doit néanmoins préserver pour protéger la planète sur laquelle il s'épanouit lui-même. Dans l'espace cultivé ou boisé artificiellement, dédié celui-ci aux activités humaines, il s'agira de limiter les dégâts vis-à-vis des processus naturels en pénalisant les pratiques polluantes et en encourageant celles qui sont favorables à la biodiversité, à la conservation des sols, à la protection de la qualité des masses d'eau, etc. Cette variante de l'intensification écologique sur l'espace productif traditionnel appelle donc des révisions et des améliorations techniques afin de rendre les pratiques moins dommageables pour l'environnement. Classiquement, les propositions vont dans le sens des nouvelles techniques de maîtrise des pathologies, de conservation des sols dans laquelle les biotechnologies, l'agriculture de précision, etc. peuvent jouer un grand rôle, surtout si les critères de performance restent ceux des voies actuelles privilégiant des indicateurs technico-économiques, certes sous contraintes de critères environnementaux. Mais de toute façon, les enjeux relatifs à l'environnement se jouent ailleurs, dans l'espace qui leur est dédié, constitué des réserves, corridors, espaces naturels qui assurent cette fonction pour l'ensemble de la planète, fonction justifiée, tant économiquement que moralement, par les services que rendent les écosystèmes concernés à l'humanité.

Si les critères d'évaluation des performances restent ceux habituellement pratiqués en agriculture, c'est-à-dire des critères de type technico-économiques (rendements, gains de poids, productivité du travail, etc.), même sous certaines contraintes environnementales, ils favoriseront les exploitations qui satisfont à ce genre de critères, celles qui appliqueront les technologies prônées de la manière la plus performante. Dans l'exemple latino-américain du scénario Agrimonde GO, cette variante de l'intensification écologique reste entièrement compatible avec la philosophie du scénario : la poursuite du taux de croissance économique maximum avec les critères classiques d'évaluation de la performance économique. En revanche, sa compatibilité avec la priorité donnée au développement agricole et à l'équité dans le scénario Agrimonde 1 n'est pas évidente. Effectivement, on

peut présager que les exploitations aptes à se saisir de ces technologies sont celles qui disposent de moyens d'investissements (ou d'aides à l'investissement) significatifs et d'un encadrement technique approprié, c'est-à-dire celles qui valoriseront le mieux les avantages comparatifs des innovations techniques dans un système compétitif. Dans ce type de modèle, on distingue habituellement des exploitations dites « commerciales » ayant atteint une dimension suffisante pour être performantes, des exploitations qui ne le sont pas encore mais qui sont en voie de le devenir (par un effort d'investissement et d'acquisition technologique) et d'autres qui ne le deviendront jamais, vouées soit à la disparition soit à un traitement qualifié de « social » !

Ainsi, dans le scénario Agrimonde 1, la forme d'intensification écologique la plus proche du modèle ségrégationniste se retrouve dans la région OCDE, où une majorité d'exploitations agricoles ont accès à un encadrement tant financier que technique pour adopter les améliorations techniques requises. L'Ex-Union soviétique pourrait se diriger également vers un type d'agriculture similaire sur ses terres cultivées faute de main-d'œuvre, mais dans ce cas, la frontière entre espace naturel et espace productif est moins tangible. Effectivement, la forêt devient le lieu privilégié de production d'agrocarburants et la frontière marquée au Nord par le pergélisol recule pour laisser place à des formes d'agropastoralisme. Dans les autres régions, le principal frein à la généralisation d'un tel modèle réside dans les possibilités d'accès à la technologie puisque le manque de capital financier, humain et parfois même foncier exclut d'emblée une partie de la paysannerie de ce modèle. Par ailleurs, les capacités d'administration des réserves naturelles et autres corridors écologiques, ainsi que la gouvernance que suppose un modèle où le front pionnier sur les espaces naturels est complètement stoppé, peuvent constituer un autre frein majeur à l'adoption de ce modèle dans ces régions.

Le modèle intégrationniste : combiner les fonctions écologiques et productives des agroécosystèmes sur un même territoire

Le mode d'intensification écologique retenu dans le scénario Agrimonde 1 dans les régions Afrique du Nord - Moyen-Orient, Afrique subsaharienne, Amérique latine et Asie se rapproche ainsi plus du deuxième modèle, celui que nous qualifierons de « l'intégration ». La question s'y pose différemment car ce modèle repose sur la combinaison, dans le même territoire, de différents types de systèmes de production, adaptés aux différents écosystèmes constituant ce territoire, de façon à le maintenir sous la forme d'une mosaïque d'écosystèmes produisant une diversité de services (épuration et régulation des masses d'eau, préservation des sols, maintien des structures paysagères et de la biodiversité, fixation du carbone, etc.). Cela conduit à maintenir, sur un même territoire, des activités d'élevage, de foresterie, de productions végétales, etc., au sein d'une même exploitation ou au sein de différentes exploitations, plus ou moins imbriquées elles-mêmes à l'échelle de ce territoire.

Les critères de performance de l'activité agricole ne se limiteraient plus seulement à des indicateurs technico-économiques, comme la productivité du travail par hectare à l'échelle

d'une exploitation, mais reposeraient sur un ensemble d'indicateurs, à l'échelle d'un territoire rendant compte de l'efficacité des pratiques agricoles en regard de la qualité de l'eau, de la biodiversité, de la conservation de la fertilité des sols tout autant que des productions commercialisables. On parlerait peut-être davantage alors de la manière dont un hectare de sol cultivé peut fournir ces divers services d'une manière qui serait durable… Dans un tel schéma, les trois types de systèmes de production évoqués ci-dessus ne sont plus exclusifs, mais ils se complètent, en permettant, justement, une gestion en finesse de la diversité des écosystèmes présents. Le scénario Agrimonde 1 en présente de bonnes illustrations. Ainsi, pour schématiser, en Amérique latine les forêts ne sont plus vouées soit à la défriche soit à la protection, mais à des formes intermédiaires relevant de différents modèles agroforestiers. En Asie, les zones humides ne seront pas toutes drainées, mais peuvent être mises en valeur comme telles en générant des réserves pastorales pour les périodes de décrue ou en associant des projets agricoles et aquacoles. En Afrique du Nord - Moyen-Orient et en Afrique subsaharienne les zones de parcours – de faible productivité fourragère – deviennent des éléments clés à la fois de circuits de pâturages utilisant une diversité de milieux et de corridors biologiques permettant à la faune et à la flore de circuler au sein d'une mosaïque paysagère ; il en devient de même des haies, bosquets et vergers, habitats pour de nombreux auxiliaires des cultures et éléments de rugosité préservant les sols et la végétation basse des effets des vents et des précipitations. Dans le scénario Agrimonde 1, les exploitations peu performantes selon les seuls critères technico-économiques utilisés en début de période (2000-2010) jouent en 2050 un grand rôle dans cette perspective, donnant tout son sens à la notion de multifonctionnalité de l'agriculture : à la fois une activité agricole qui fournit d'autres biens et services que les seuls biens agricoles, alimentaires ou non, mais également comme l'une des activités pratiquées sur un territoire par certains des ménages qui l'habitent ; ce sont alors le territoire et les ménages qui sont multifonctionnels, l'agriculture proprement-dite ne représentant qu'une seule de ces fonctions.

Quelques voies d'approfondissement du concept d'intensification écologique

En ce sens, le scénario Agrimonde 1 intègre un renversement de point de vue sur la multifonctionnalité de l'agriculture (Caron *et al.*, 2008), telle qu'elle est relevée comme un des points essentiels, tant par les recommandations de l'IAASTD (IAASTD, 2009) que par le rapport de la Banque mondiale 2008 dédié aux questions agricoles (World Bank, 2008). Une des premières tâches pour lui donner sens consisterait à produire des critères de performances susceptibles d'évaluer la qualité dans la manière dont ces différentes fonctions sont réalisées, ne serait-ce qu'afin de pouvoir les mettre en politique et les administrer, si ce n'est pour les rémunérer. On verrait alors que, dans un tel schéma, les différents types d'agriculture évoqués dans le paragraphe précédent se complètent plus qu'ils ne sont censés s'aligner sur un modèle unique.

Enfin, dans un cas comme dans l'autre, mais encore plus dans le modèle de l'intégration, se pose la question des réelles capacités d'émergence de nouveaux choix technologiques (et donc sociaux, économiques, d'aménagement de l'espace, etc.). Il pourra s'avérer difficile de sortir des choix actuels tant ils sont intégrés, non seulement dans le panel des solutions techniques évoquées ci-dessus (mécanisation, engrais, pesticides, génétique, etc.) que dans les systèmes cognitifs (savoirs et savoir-faire, représentations de la nature, des nuisances, des paysages, etc.) et de valeurs (« ce qui est bien » !) des principaux acteurs impliqués, de la profession agricole mais également des services et administrations qui les entourent, ainsi que les modes de raisonnement technoscientifiques courants et les priorités données également aux autres secteurs d'activité économique… En d'autres termes, ainsi que l'ont connu d'autres secteurs d'activité, le domaine agricole pourrait se trouver déjà pris au piège de la rationalisation technique, dans une sorte de *lock in* qui rendra bien difficile la conception et la mise en œuvre d'options alternatives… sauf que le caractère essentiel de l'agriculture pour l'ensemble de l'humanité n'autorise pas à tergiverser et à se voiler la face devant les risques liés à la poursuite des tendances actuelles.

Échanges et agriculture durable : quelles régulations ?

Michel Petit

Une des conclusions les plus importantes de l'exercice Agrimonde est probablement que les échanges internationaux de produits alimentaires devront s'intensifier au cours des prochaines décennies. Certes, les bilans ressources-emplois élaborés à l'horizon 2050 (Chapitre 8) ne permettent pas d'évaluer directement les volumes d'échanges internationaux. Toutefois, des enseignements robustes sur ce point peuvent être tirés des chiffres disponibles, à savoir les soldes nets d'échange (exportations-importations) nécessaires pour assurer la satisfaction des besoins au niveau des grandes régions du monde. On peut en effet additionner la somme des déficits régionaux – essentiellement en calories végétales selon le mode d'équilibrage de la variante 1 dans laquelle les pays importent des aliments pour animaux plutôt que les produits animaux qui leur font défaut (Chapitre 8) – et interpréter cette somme comme un indicateur agrégé des échanges de produits alimentaires. Il s'agit cependant d'une estimation par défaut des importations nécessaires pour les régions déficitaires nettes puisqu'elle néglige les échanges entre pays d'une même région, et le fait que certains pays peuvent être exportateurs nets de certains produits végétaux en même temps qu'importateurs nets de certains produits animaux, ou vice-versa.

Malgré ces limites, le calcul de cet indicateur en 2050 met en évidence une forte croissance des déficits alimentaires de certaines régions, dans les deux scénarios, entre la situation de l'année de référence (2003) et les deux situations futures envisagées. Ce

déficit cumulé en produits alimentaires atteint 9 933 Gkcal/j dans le scénario Agrimonde 1 et 5 126 Gkcal/j dans le scénario Agrimonde GO alors qu'en 2003, les déficits nets cumulés atteignaient 1 307 (produits alimentaires végétaux et animaux confondus). Même si, pour des raisons méthodologiques, ce dernier chiffre n'est pas directement comparable aux déficits cumulés des scénarios 2050 (les simulations pour 2050 supposent, dans la variante 1, une préférence pour l'importation d'aliments pour animaux, ce qui n'est pas totalement vérifié dans le passé), cette comparaison conduit à des différences extrêmement prononcées entre 2003 et 2050, avec un creusement du déficit de, respectivement 660 % et 292 % pour les scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO. Par ailleurs, le déficit cumulé des régions déficitaires dans le scénario Agrimonde 1 est beaucoup plus important que celui envisagé dans le scénario Agrimonde GO. Pourtant, ce scénario est supposé représenter un monde ouvert, dans lequel la croissance économique repose beaucoup sur le commerce international alors que le scénario Agrimonde 1 se veut davantage préoccupé par le souci d'un développement durable à long terme.

Au total, le scénario Agrimonde 1 implique une forte croissance des échanges interrégionaux et donc internationaux. Pourtant ce scénario a été construit, rappelons-le, sur une base volontariste à la fois quant à l'estimation des besoins alimentaires (3 000 kcal par jour et par habitant en moyenne dans toutes les régions du monde, dont 500 kcal d'origines animale et aquatique) et quant à la protection de l'environnement, ce souci étant reflété dans le choix des hypothèses de surfaces et de rendements, discuté dans les chapitres 6 et 7. *A priori*, ces deux choix semblent cohérents avec les thèses prônant une plus grande autonomie vis-à-vis des marchés internationaux. Ce résultat conduit à s'interroger sur la vraisemblance de ces hypothèses. En effet, les hypothèses basses de rendement retenues dans le scénario Agrimonde 1 dans les régions déficitaires sont relativement faibles, en tout cas nettement au-dessous du prolongement des tendances passées tandis que les hypothèses de consommation, notamment en calories animales en Afrique subsaharienne, sont élevées. Pour cette dernière région, une hypothèse plus optimiste de croissance des rendements aurait pu réduire le déficit en calories en 2050. En revanche, le déficit envisagé pour les régions Asie et Afrique du Nord - Moyen-Orient semble malheureusement moins sujet à discussion, étant donné les faibles potentiels de terre cultivable et d'évolution des rendements.

La nécessaire croissance des échanges internationaux apparaît donc comme un résultat assez robuste puisqu'elle s'impose dans de nombreux scénarios explorant une variété d'hypothèses sur les emplois et ressources de biomasse alimentaire. En effet, outre les deux scénarios Agrimonde, le scénario de *Révolution doublement verte* de Michel Griffon, plus optimiste en termes de progrès technique durable possible dans les régions déficitaires (Asie, Afrique subsaharienne et Afrique du Nord - Moyen-Orient), et d'autres travaux de prospective ou de projection[103] concluent à une nécessaire croissance des échanges.

103. Voir par exemple les derniers résultats du modèle IMPACT de l'IFPRI (*International Food Policy Research Institute*), tels que publiés dans le rapport de l'IAASTD (IAASTD, 2009).

Cette croissance des échanges internationaux a indubitablement des implications importantes en matière de régulation souhaitable des échanges commerciaux. Ainsi, une forte poussée du protectionnisme, notamment dans les zones déficitaires, ne paraît pas souhaitable car trop de protection pourrait entraver la progression nécessaire des importations dans les pays déficitaires. Inversement, les hypothèses du scénario Agrimonde 1, en particulier relatives aux surfaces et aux rendements, impliquent une viabilité économique des agricultures locales, notamment celles fondées sur de nombreuses petites exploitations de semi-subsistance. Or cette viabilité économique risquerait d'être remise en cause par la concurrence d'importations massives à des prix bradés, notamment grâce à des subventions aux exportations, telles que pratiquées largement par les pays développés dans le passé. Au total donc, on arrive à une conclusion qui pourra surprendre : on voit en effet que de nombreux pays pauvres des régions déficitaires auraient intérêt à une conclusion positive du cycle de Doha, sur la base des principales dispositions qui étaient « sur la table » lors de la conférence ministérielle de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) à Genève en juillet 2008 (élimination des subventions aux exportations, meilleur accès aux marchés des pays développés, maintien du niveau de protection agricole pour les pays les plus pauvres avec cependant érosion des préférences pour les pays bénéficiant d'un accès privilégié à certains marchés, comme les pays ACP[104] sur le marché européen). Certes la conférence a échoué et analyser les causes de cet échec sort largement du cadre du projet Agrimonde. Ce qu'il importe de souligner ici, c'est la nécessité, dans les deux scénarios, d'une croissance des importations des régions déficitaires et le danger de tout dogmatisme idéologique en matière de régulation des échanges internationaux.

En outre, la régulation des échanges internationaux devra se faire en cohérence avec l'action internationale en matière d'environnement, tout particulièrement en ce qui concerne la lutte contre le réchauffement climatique. En effet, l'agriculture, notamment dans les pays tropicaux, sera particulièrement affectée par le changement climatique. Or, les récentes négociations sur le sujet, notamment lors de la conférence de Copenhague en décembre 2009, ont illustré les difficultés d'inclure l'agriculture dans les programmes de réduction des émissions de gaz à effet de serre et d'adaptation aux impacts du changement climatique. Pourtant, comme l'ont affirmé avec beaucoup de force les pays africains, il n'y aura pas d'accord global possible qui n'inclurait pas explicitement l'agriculture. La régulation des échanges commerciaux se négocie à l'OMC, qui n'a pas autorité en matière de réchauffement climatique. Mais il est clair, et généralement admis, que les règles de l'OMC devront être mises en cohérence avec un éventuel accord international sur le changement climatique. Trouver un accord sur ces questions dans un délai raisonnable constitue aujourd'hui un défi redoutable pour la gouvernance mondiale.

104. Pays d'Afrique, Caraïbes et Pacifique signataires des accords de Lomé et de Cotonou.

Conclusion

Bernard Hubert, Patrick Caron et Hervé Guyomard

L'exercice de prospective Agrimonde a permis de se poser des questions qui n'étaient pas formulées comme telles dans les débats scientifiques habituels. Non pas que les faits rapportés ou les hypothèses élaborées soient totalement imprévisibles ou inconnus. Ils ont en fait amené les experts, puis les différents auditoires auxquels les résultats ont été présentés, à réfléchir différemment aux actions à entreprendre en priorité selon le type de futur souhaité – ou non – dans les décennies à venir. C'est d'ailleurs là tout l'intérêt des scénarios tendanciels *(baseline)* que de mettre le doigt, non pas sur une prévision certaine d'un futur que personne ne peut réellement anticiper à un horizon lointain comme 2050, mais sur l'étroit sentier des futurs possibles si on n'élargit pas dès maintenant les options possibles. Le (ou les) scénario(s) alternatif(s) peuvent ainsi être mobilisés pour identifier les objectifs à atteindre par cet éventuel élargissement des options explorées ; c'est bien là le rôle qu'a joué le scénario Agrimonde 1 en contrepoint du scénario tendanciel fourni par Agrimonde GO.

Nous conclurons cette présentation d'Agrimonde en commençant par reprendre très brièvement les trois principaux enjeux d'intérêt immédiat, dans la perspective, précisément, de mieux maîtriser notre devenir et, partant, sur les domaines qu'il paraît nécessaire – pour des établissements de recherche – d'investiguer afin d'élargir la palette des choix politiques et sociétaux. Puis, nous nous interrogerons sur le rôle que peut jouer la prospective en appui à la programmation de la recherche agronomique pour identifier, *in fine*, quelques pistes de poursuite de ce travail de prospective au sein de nos établissements.

La prospective Agrimonde en trois enjeux

Au-delà des chiffres et des récits, la lecture croisée des deux scénarios nous a permis d'identifier des questions transversales et trois enjeux majeurs, à savoir les comportements de consommation alimentaire, les options technologiques et organisationnelles, et les échanges de produits agricoles et leur régulation. Pour chacun d'entre eux, la mise en regard des deux scénarios a révélé des lignes de force qu'aucun des membres du groupe de travail n'avait vraiment anticipées.

Les comportements de consommation alimentaire : une donnée à intégrer en amont des choix de production !

Scénario de rupture, Agrimonde 1 repose sur une convergence, au niveau des grandes régions du monde, des consommations alimentaires moyennes apparentes (les « disponibilités ») à 3 000 kcal/hab./j, dont 2 500 d'origine végétale. Cette valeur unique correspond à des trajectoires contrastées d'évolution selon les zones. En Afrique subsaharienne, le développement économique, en premier lieu le développement agricole, devra être suffisamment dynamique pour se traduire par une augmentation des revenus, un accroissement et une diversification des consommations alimentaires. À l'inverse, dans les pays développés de l'OCDE, les disponibilités alimentaires et la part des produits animaux dans celles-ci auront diminué en dépit de la croissance des revenus par habitant. Ces deux ruptures sont-elles imaginables ? Cette question ouvre trois pistes de réflexion.

Les évolutions des consommations alimentaires se décomposent en trois phases en fonction de l'augmentation des revenus : une première phase de croissance quantitative de tous les aliments ; puis une deuxième phase de modification des paniers qui s'enrichissent en produits animaux, glucides et graisses saturées ; et enfin une troisième phase de stationnarité de la composition en macronutriments. On peut légitimement supposer que les ménages des pays développés et de plusieurs pays émergents se situeront, dans leur très grande majorité, dans la troisième phase du cycle en 2050. Par ailleurs, les personnes âgées de plus de 60 ans représenteront alors plus de 20 % de la population mondiale (10 % aujourd'hui) ; les besoins caloriques de ces personnes étant moindres, le vieillissement de la population mondiale pourrait aussi contribuer à rendre plausible la diminution des consommations alimentaires moyennes dans les pays riches.

La baisse des disponibilités alimentaires à 3 000 kcal/hab.j ne doit pas être lue comme une diminution proportionnelle des quantités ingérées ; elle peut aussi s'opérer par une plus grande consommation d'aliments plutôt riches en fibres et micronutriments qu'en calories, comme les fruits et légumes, ainsi que par une réduction des pertes et des gaspillages. Ces derniers sont considérables aux niveaux de la distribution et de la consommation finale, environ 800 kcal/hab./j dans les pays développés. Les comportements de consommation visant à les réduire sont aujourd'hui marginaux. Ils pourraient demain prendre de l'ampleur sous l'effet notamment de politiques publiques fortes en ce domaine. De même, la réflexion invite – ce qui n'a pas été réalisé à ce stade – à analyser, intégrer et réduire le coût énergétique lié à la conservation, au transport et à la distribution des aliments.

Le scénario Agrimonde 1 suppose que le régulateur public ait mis en place les mesures nécessaires pour lutter contre la suralimentation et les maladies associées. Il s'agit là d'un défi majeur. Les mesures sont encore aujourd'hui trop peu nombreuses et principalement fondées sur l'éducation et l'information des consommateurs. Pour nécessaires qu'elles soient, celles-ci ne suffiront pas. Elles devront s'insérer dans des politiques de

santé publique plus ambitieuses, n'excluant aucun instrument et reposant sur une compréhension fine des comportements alimentaires et de leurs relations à la santé.

Ce qui apparaît en outre clairement à l'issue de cet éclairage, c'est que la recherche agronomique ne peut pas ignorer les questions nutritionnelles et les comportements alimentaires. Ils sont au cœur de problèmes de santé publique qui concernent l'ensemble de nos sociétés et en particulier celles des économies en transition. Ces questions nutritionnelles réinterrogent par ailleurs l'offre de production dans toutes ses dimensions. On a bien vu dans l'ouvrage que la question de la sécurité alimentaire à l'échelle de la planète ne se règlera pas de la même manière ni aussi facilement en fonction des options alimentaires et nutritionnelles qui seront prônées.

Les choix technologiques et organisationnels de production agricole : options pour l'intensification écologique

Dans une acception étroite, l'intensification écologique des systèmes agricoles à l'œuvre dans le scénario Agrimonde 1 peut se définir comme une agronomie exploitant au mieux les processus écologiques. Cette agronomie renouvelée sera plus économe en énergies fossiles. Elle valorisera au mieux la capacité des sols à mobiliser la matière organique via, par exemple, des associations culturales ou un travail du sol adapté. Elle luttera contre les ennemis des cultures par des méthodes de protection et de production intégrées reposant sur les auxiliaires des cultures, les successions culturales, des rotations plus longues ou l'organisation du parcellaire. Elle résistera mieux aux maladies en ayant recours à un plus grand nombre d'espèces et de variétés, etc. Loin de l'image passéiste qui lui est parfois associée, l'intensification écologique tirera profit des avancées scientifiques et techniques via, par exemple, le recours aux biotechnologies, la télédétection ou encore la sélection assistée par marqueur. Simultanément, elle exploitera aussi les savoirs et savoir-faire traditionnels.

L'intensification écologique ne saurait se réduire à cette seule dimension technique. Elle doit aussi être pensée en tant que mode d'organisation sociale, économique, politique, spatiale, etc. À titre d'illustration des enjeux relatifs à la dimension spatiale analysée ici en termes d'organisation des espaces agricoles et naturels, on peut distinguer deux modèles :

- d'une part, un modèle « ségrégationniste » qui sépare les espaces cultivés de ceux qui ne le sont pas au titre de la protection de l'environnement. Ce premier modèle requiert de fortes innovations de façon à limiter les dommages environnementaux dans l'espace productif. Mais c'est principalement dans le cadre de l'espace non productif que sont alors pensés les problèmes environnementaux globaux et leur résolution, conduisant, à l'extrême, à la sanctuarisation de ces espaces ;
- d'autre part, un modèle « intégrationniste » qui associe, sur un même territoire, différents types de systèmes productifs et fait du territoire une mosaïque d'écosystèmes simultanément source de biens marchands et de services écologiques tels que la préservation des sols, la gestion optimisée de l'eau, le stockage de carbone ou la protection de

la biodiversité. Selon ce deuxième modèle, coexistent au niveau du territoire, éventuellement au niveau d'une unité de production, activités de culture, d'élevage, de foresterie, etc. Ainsi, en Amérique latine, les forêts ne sont plus destinées à la défriche ou à la protection, mais à l'agroforesterie selon des modalités adaptées aux différents contextes subrégionaux. De même, en Afrique du Nord - Moyen-Orient et en Afrique subsaharienne, les zones de parcours sont à la fois une source de nourriture pour les animaux et un élément clé de protection de la biodiversité. Des exploitations agricoles, éventuellement peu performantes à l'aune des seules performances technico-économiques classiques, jouent néanmoins un rôle environnemental et social essentiel, donnant tout son sens à la notion de multifonctionnalité. Elles peuvent légitimement bénéficier de soutiens publics à ce titre, de façon à assurer, si besoin, leur pérennité.

L'enjeu est bien de développer une gamme d'options techniques, applicables dans une diversité de situations, et bien souvent complémentaires les unes des autres en termes de types de ressources mobilisées, d'équipements, de savoirs et de savoir-faire. Mais toutes ces options vont dans le sens d'une exploitation plus durable des ressources en s'intéressant également à la manière dont elles sont produites par l'agriculture elle-même, à différentes échelles spatiales et temporelles. Pour cela, une des priorités consiste à produire et à convenir des critères de performance qui permettront d'évaluer l'efficacité et l'efficience de ces systèmes de production renouvelés, tant du point de vue de leur productivité intrinsèque, que de celui de leurs effets sur les paramètres environnementaux, ainsi que de leur viabilité économique et leur durabilité sociale au regard de l'organisation et de la pénibilité des tâches à accomplir.

Échanges internationaux de produits agricoles et agroalimentaires : une nécessité qui suppose leur sécurisation

En 2050, l'image est la même dans les deux scénarios : celle d'un monde divisé en deux où trois zones excédentaires en production de calories alimentaires, l'OCDE, l'Amérique latine et l'Ex-Union soviétique, complètent l'approvisionnement des trois zones déficitaires, l'Asie, l'Afrique du Nord - Moyen-Orient et l'Afrique subsaharienne. Dans ces trois régions et dans les deux scénarios, l'augmentation de la production agricole domestique ne permet en effet pas de satisfaire les besoins intérieurs et un recours accru aux importations est nécessaire. Si des hypothèses plus optimistes d'augmentation des rendements sont envisageables en Afrique subsaharienne, du fait de la faiblesse des niveaux de rendement atteints aujourd'hui et des réserves de terre agricole dans cette région, le déficit envisagé pour les régions Asie et Afrique du Nord - Moyen-Orient à l'horizon 2050 apparaît comme un résultat assez robuste, étant donné le faible potentiel d'extension des surfaces cultivées et de croissance des rendements.

Ce constat pose la question de la sécurisation des échanges internationaux, à deux titres. D'abord, de façon à compenser le déficit de production domestique dans les pays importateurs nets de calories alimentaires et à configurer ainsi un environnement international aussi certain que possible. De façon, aussi, à permettre des augmentations

de la production agricole vivrière. Cela requiert un contexte international stabilisé sur les plans économique, social et politique. Plusieurs voies peuvent être empruntées pour favoriser la croissance de la production et assurer la sécurisation d'échanges internationaux à la hausse. Loin de tout dogmatisme en la matière et à défaut d'apporter la solution, la prospective Agrimonde souligne l'impérieuse nécessité de raisonner les futurs des systèmes alimentaires et agricoles en intégrant la dimension internationale, plus spécifiquement la problématique des échanges mondiaux de produits agricoles et agroalimentaires, de leur sécurisation, de leur stabilité, et des relations avec les régulations internationales environnementales et sociales.

La prospective Agrimonde, un outil de réflexion et de programmation

Dans les deux premiers scénarios (Agrimonde GO et Agrimonde 1) étudiés par la prospective Agrimonde, nourrir la planète en 2050 apparaît possible. À ce premier enseignement s'en ajoute un second : cela peut se faire dans le cadre d'un développement durable des systèmes alimentaires et agricoles mondiaux. Cela suppose toutefois que plusieurs conditions soient remplies. Comme celles-ci correspondent souvent à des ruptures dans les évolutions tendancielles, cela ne saurait être facile.

Le scénario Agrimonde 1 dessine un sentier – parmi d'autres possibles – de développement des systèmes alimentaires et agricoles mondiaux qui se veut durable. Comme tout scénario, il repose en amont sur des hypothèses qui, si elles n'étaient pas satisfaites, remettraient en cause sa faisabilité. Ici, il est en particulier supposé que la croissance économique du monde en développement s'effectue sur une base agricole et rurale, que la croissance démographique reste dans la moyenne des estimations actuelles, tout comme les migrations internationales, ou encore que le changement climatique et ses effets sont relativement modérés. Le scénario Agrimonde 1 repose aussi sur trois inflexions majeures, à savoir la réduction des consommations alimentaires excessives et des gaspillages, les progrès apportés par une agronomie écologiquement intensive et la sécurisation des échanges internationaux de produits agricoles et agroalimentaires. Ces trois évolutions, interdépendantes, doivent être pensées dans un univers à multiples dimensions (techniques, sociales, économiques et politiques). Elles nécessitent des investissements importants, un effort substantiel de recherche et de recherche-développement, et des politiques publiques renouvelées aux échelles internationale et nationale.

La question alimentaire est complexe, en elle-même et dans ses interrelations avec l'environnement, l'énergie, la santé, le développement économique des zones rurales et des pays en développement. Cette complexité ne doit pas effrayer et conduire à l'immobilisme, au scénario *Business as usual* dont on sait déjà qu'il n'est pas viable pour l'humanité. La démarche prospective invite à faire face et à anticiper les défis qui s'annoncent au-delà de la situation présente.

Ainsi, dans le domaine agricole et agroalimentaire comme dans d'autres, les initiatives impliquant les scientifiques à des échelles globales se sont multipliées au cours des dernières années, qu'elles concernent l'organisation et la régulation des échanges par l'Organisation mondiale du commerce (OMC), le bilan et l'analyse des connaissances disponibles dans le cadre de l'IAASTD[105], les réflexions organisées par la Banque mondiale[106], l'organisation du système mondial de la recherche dans le cadre du Forum mondial pour la recherche agricole[107] et de la réforme en cours du CGIAR[108], ou encore la mise en place en cours du GPAFS[109]. À la différence du changement climatique, ces travaux – conseil, expertise, prospective, étude, recherche – s'inscrivent dans des enjeux et des débats politiques qui les ont précédés. C'est à partir de ces études et des débats qui en découlent que s'élaborent la pensée scientifique « rationnelle », « communément acceptée par les experts », et les normes internationales qui en sont déduites. L'enjeu est important car cette pensée oriente les choix des organisations internationales et des gouvernements ; elle pèse sur les négociations dans les domaines de l'agriculture, de l'environnement, du développement, du commerce, ainsi que sur l'orientation à donner à la recherche agronomique. La qualité des travaux d'analyse peut faire évoluer les représentations et ouvrir de nouveaux espaces à l'action, notamment lorsqu'elle est publique, y compris internationale.

Les premières mises en débat, en France et sur la scène internationale, des scénarios Agrimonde GO et Agrimonde 1, de leurs résultats et de leurs implications, ont déjà permis d'enrichir le questionnement initial, de formuler de nouvelles hypothèses, d'imaginer des futurs alternatifs. Elles ont également permis de montrer que des exercices aussi différents *a priori* que peuvent l'être l'IAASTD, les projections de *l'International Food Policy Research Institute*, de l'Organisation des Nations unies pour l'Agriculture et l'Alimentation (FAO) ou du *Millennium Institute*, les prospectives du *Standing Committee on Agricultural Research* (SCAR) de l'Union européenne, du Centre international des hautes études agronomiques méditerranéennes (CIHEAM) ou encore du gouvernement britannique convergent pour dire que la question de la sécurité alimentaire est d'abord un problème

105. *International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development*. Les rapports issus de cette expertise collective mondiale ont été publiés en 2009 chez *Island Press* ; ils sont disponibles sur http://www.agassessment.org.

106. Le rapport annuel sur l'état du développement dans le monde commandité par la Banque mondiale pour l'année 2008 (World Bank, 2008) est ainsi consacré à l'agriculture, ce qui n'était pas arrivé depuis 27 ans .

107. En anglais, the *Global Forum on Agricultural Research* (http://www.egfar.org).

108. *Consultative Group on International Agricultural Research* (en français, Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale) qui coordonne l'action de 15 centres internationaux de recherche agronomique créés depuis les années 1970 (http://www.cgiar.org).

109. *Global Partnership for Agriculture and Food Security* en cours de mise en place, suite au sommet de la FAO sur l'alimentation de juin 2008, convoqué en réaction à la « crise alimentaire » du début de cette même année, suite au sommet organisé à Madrid par les Nations unies début 2009 (http://www.ransa2009.org) et au Sommet des Chefs d'État organisé à Rome en novembre 2009.

d'accès à l'alimentation pour les plus démunis. Elle n'est pas uniquement une question de production. La situation des plus démunis, en particulier en milieu rural, doit faire l'objet des priorités de recherche et d'action, d'autant qu'ils seront les premiers menacés par la dégradation de l'environnement et le changement climatique. Ces réflexions se retrouvent également pour convenir de la nécessité d'engager des recherches sur la consommation d'énergie en agriculture, les relations villes-campagnes, les situations des transitions démographiques et leurs conséquences sur l'organisation du travail comme sur les comportements alimentaires, la réduction des pertes et gaspillages, etc. Elles recommandent enfin une prise en compte élargie des activités agricoles dans des mondes ruraux en mutation dans toutes les zones du monde et dans l'ensemble des dynamiques économiques en favorisant des approches intersectorielles.

L'INRA et le CIRAD ont l'ambition, si ce n'est le devoir, de poursuivre et d'intensifier l'effort ainsi engagé. Car c'est aujourd'hui que se décident les actions et que se définissent les trajectoires qui permettront demain de couvrir correctement les besoins de chaque être humain en aliments, énergie et biomatériaux, de réduire la pauvreté et les inégalités, d'endiguer la dégradation des biens et services environnementaux. Dans un monde de ressources rares, le facteur le plus rare est peut-être le facteur temps.

Il est clairement utile, si ce n'est nécessaire, d'apprendre à mieux combiner deux mondes, celui de la prospective et celui de la recherche, qui ne reposent pas sur les mêmes paradigmes et sur les mêmes valeurs fondatrices. En aidant la recherche à identifier les bonnes questions qui se profilent à l'horizon mais qui sont à traiter dès aujourd'hui, la prospective peut lui éviter de s'engager dans des impasses intellectuelles focalisées sur la production d'arguments, *evidence based*, censés contribuer à des débats au plus haut niveau, comme par exemple le seul appel à l'amélioration génétique pour augmenter la productivité et réduire la famine. Cette voie de progrès ne doit naturellement pas être exclue ; elle ne saurait cependant, tout aussi naturellement, suffire. La prospective peut également aider les chercheurs et les décideurs à ne pas tomber dans le piège consistant à ne rien faire sous prétexte qu'on ne saurait pas tout sur des questions si complexes. Elle invite au contraire à apprendre à faire face et à anticiper les défis qui se profilent au-delà de la situation présente.

Confrontés à la complexification des enjeux et des connaissances, il n'est guère aujourd'hui d'organisation internationale, de pays ou d'ONG qui n'intervienne d'une façon ou d'une autre dans les études et les débats sur le futur de la production agricole et de l'alimentation mondiales, sur leurs interactions avec l'objectif de développement durable et sur leurs implications dans les relations internationales et les politiques publiques. Il est vrai que la profusion d'informations, de données, de résultats et, corrélativement, la grande illisibilité d'ensemble, ne poussent ni à examiner les hypothèses sous-jacentes, qu'elles soient scientifiques ou idéologiques, ni à donner toute leur place à des réflexions ne s'insérant pas dans la *doxa* internationale. Il faudrait au contraire se donner comme perspective d'enrichir et d'élargir ces études afin d'éclairer les options futures vers lesquelles il faut tendre. C'est ce que l'INRA et le CIRAD ont commencé à faire avec cet exercice

de prospective et c'est ce que les deux institutions continueront de faire, dans le cadre d'un partenariat élargi. Les premiers résultats rapportés et commentés dans cet ouvrage montrent combien il importe de créer les cadres de formulation des questions pertinentes à traiter. Telle est l'ambition d'Agrimonde.

Annexe 1

Liste des pays et lignes de produits utilisés dans Agribiom

Comparaison des productions animales observées et simulées

Tableau A1.1. Les pays analysés et leur classement en région MEA.

Pays		Période statistique	Classement en région	
Nom français	Nom anglais		Région MEA	Intitulé complet
Albanie	Albania	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990 – OCDE 1990
Algérie	Algeria	1961-2003	MENA-ANMO	Middle East and North Africa – Afrique du Nord et Moyen-Orient
Angola	Angola	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa – Afrique subssaharienne
Argentine	Argentina	1961-2003	LAM-AL	Latin America – Amérique latine
Arménie	Armenia	1992-2003	FSU-Ex-URSS	Former Soviet Union – anciennement URSS
Australie	Australia	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Autriche	Austria	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Azerbaïdjan, République de	Azerbaijan, Republic of	1992-2003	FSU-Ex-URSS	Former Soviet Union
Bangladesh	Bangladesh	1961-2003	ASIA-ASIE	Asia - Asie
Bélarus	Belarus	1992-2003	FSU-Ex-URSS	Former Soviet Union
Belgique-Luxembourg	Belgium-Luxembourg	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Bénin	Benin	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Bolivie	Bolivia	1961-2003	LAM-AL	Latin America
Bosnie-Herzégovine	Bosnia and Herzegovina	1992-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Botswana	Botswana	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Brésil	Brazil	1961-2003	LAM-AL	Latin America
Bulgarie	Bulgaria	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Burkina Faso	Burkina Faso	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Burundi	Burundi	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Cambodge	Cambodia	1961-2003	ASIA-ASIE	Asia
Cameroun	Cameroon	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Canada	Canada	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Centrafricaine, République	Central African Republic	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Tchad	Chad	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Chili	Chile	1961-2003	LAM-AL	Latin America
Chine	China	1961-2003	ASIA-ASIE	Asia
Colombie	Colombia	1961-2003	LAM-AL	Latin America
Congo, République démocratique du	Congo, Democratic Republic of	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Congo, République du	Congo, Republic of	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Costa Rica	Costa Rica	1961-2003	LAM-AL	Latin America
Côte d'Ivoire	Côte d'Ivoire	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Croatie	Croatia	1992-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Cuba	Cuba	1961-2003	LAM-AL	Latin America
Tchèque, République	Czech Republic	1993-2003	OECD -OCDE	OECD 1990

Tchécoslovaquie	Czechoslovakia	1961-1992	OECD-OCDE	OECD 1990
Danemark	Denmark	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Dominicaine, République	Dominican Republic	1961-2003	LAM-AL	Latin America
Équateur	Ecuador	1961-2003	LAM-AL	Latin America
Égypte	Egypt	1961-2003	MENA-ANMO	Middle East and North Africa
El Salvador	El Salvador	1961-2003	LAM-AL	Latin America
Érythrée	Eritrea	1993-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Estonie	Estonia	1992-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Éthiopie	Ethiopia	1993-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Éthiopie RDP	Ethiopia PDR	1961-1992	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Finlande	Finland	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
France	France	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Gabon	Gabon	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Gambie	Gambia	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Géorgie	Georgia	1992-2003	FSU-Ex-URSS	Former Soviet Union
Allemagne	Germany	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Ghana	Ghana	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Grèce	Greece	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Guatemala	Guatemala	1961-2003	LAM-AL	Latin America
Guinée	Guinea	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Guinée-Bissau	Guinea-Bissau	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Guyana	Guyana	1961-2003	LAM-AL	Latin America
Haïti	Haiti	1961-2003	LAM-AL	Latin America
Honduras	Honduras	1961-2003	LAM-AL	Latin America
Hongrie	Hungary	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Islande	Iceland	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Inde	India	1961-2003	ASIA-ASIE	Asia
Indonésie	Indonesia	1961-2003	ASIA-ASIE	Asia
Iran, République islamique d'	Iran, Islamic Republic of	1961-2003	MENA-ANMO	Middle East and North Africa
Irlande	Ireland	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Israël	Israel	1961-2003	MENA-ANMO	Middle East and North Africa
Italie	Italy	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Jamaïque	Jamaica	1961-2003	LAM-AL	Latin America
Japon	Japan	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Jordanie	Jordan	1961-2003	MENA-ANMO	Middle East and North Africa
Kazakhstan	Kazakhstan	1992-2003	FSU-Ex-URSS	Former Soviet Union
Kenya	Kenya	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Corée, République populaire démocratique	Korea, Democratic People's Republic	1961-2003	ASIA-ASIE	Asia
Corée, République de	Korea, Republic of	1961-2003	ASIA-ASIE	Asia
Koweït	Kuwait	1961-2003	MENA-ANMO	Middle East and North Africa

Tableau A1.1. Les pays analysés et leur classement en région MEA (suite).

Pays		Période statistique	Classement en région	
Nom français	Nom anglais		Région MEA	Intitulé complet
Kirghizistan	Kyrgyzstan	1992-2003	FSU-Ex-URSS	Former Soviet Union
Laos	Laos	1961-2003	ASIA-ASIE	Asia
Lettonie	Latvia	1992-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Liban	Lebanon	1961-2003	MENA-ANMO	Middle East and North Africa
Lesotho	Lesotho	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Libéria	Liberia	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Libyen, Jamahiriya arabe	Libyan Arab Jamahiriya	1961-2003	MENA-ANMO	Middle East and North Africa
Lituanie	Lithuania	1992-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Macédoine, ex-République Yougoslavie	Macedonia, The Fmr Yug Republic	1992-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Madagascar	Madagascar	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Malawi	Malawi	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Malaisie	Malaysia	1961-2003	ASIA-ASIE	Asia
Mali	Mali	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Mauritanie	Mauritania	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Mexique	Mexico	1961-2003	LAM-AL	Latin America
Moldova, République de	Moldova, Republic of	1992-2003	FSU-Ex-URSS	Former Soviet Union
Mongolie	Mongolia	1961-2003	ASIA-ASIE	Asia
Maroc	Morocco	1961-2003	MENA-ANMO	Middle East and North Africa
Mozambique	Mozambique	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Myanmar	Myanmar	1961-2003	ASIA-ASIE	Asia
Namibie	Namibia	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Népal	Nepal	1961-2003	ASIA-ASIE	Asia
Pays-Bas	Netherlands	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Nouvelle-Zélande	New Zealand	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Nicaragua	Nicaragua	1961-2003	LAM-AL	Latin America
Niger	Niger	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Nigeria	Nigeria	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Norvège	Norway	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Pakistan	Pakistan	1961-2003	ASIA-ASIE	Asia
Panama	Panama	1961-2003	LAM-AL	Latin America
Paraguay	Paraguay	1961-2003	LAM-AL	Latin America
Pérou	Peru	1961-2003	LAM-AL	Latin America
Philippines	Philippines	1961-2003	ASIA-ASIE	Asia
Pologne	Poland	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990

Portugal	Portugal	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Roumanie	Romania	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Fédération de Russie	Russian Federation	1992-2003	FSU-Ex-URSS	Former Soviet Union
Rwanda	Rwanda	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Arabie saoudite	Saudi Arabia	1961-2003	MENA-ANMO	Middle East and North Africa
Sénégal	Senegal	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Sierra Leone	Sierra Leone	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Slovaquie	Slovakia	1993-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Slovénie	Slovenia	1992-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Salomon, Îles	Solomon Islands	1961-2003	ASIA-ASIE	Asia
Afrique du Sud	South Africa	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Espagne	Spain	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Sri Lanka	Sri Lanka	1961-2003	ASIA-ASIE	Asia
Soudan	Sudan	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Suriname	Suriname	1961-2003	LAM-AL	Latin America
Swaziland	Swaziland	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Suède	Sweden	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Suisse	Switzerland	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Syrienne, République arabe	Syrian Arab Republic	1961-2003	MENA-ANMO	Middle East and North Africa
Tadjikistan	Tajikistan	1992-2003	FSU-Ex-URSS	Former Soviet Union
Tanzanie, République unie de	Tanzania, United Republic of	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Thaïlande	Thailand	1961-2003	ASIA-ASIE	Asia
Timor oriental	Timor-Leste	1961-2003	ASIA – ASIE	Asia
Togo	Togo	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Tunisie	Tunisia	1961-2003	MENA-ANMO	Middle East and North Africa
Turquie	Turkey	1961-2003	MENA-ANMO	Middle East and North Africa
Turkménistan	Turkmenistan	1992-2003	FSU-Ex-URSS	Former Soviet Union
Ouganda	Uganda	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Ukraine	Ukraine	1992-2003	FSU-Ex-URSS	Former Soviet Union
Émirats arabes unis	United Arab Emirates	1961-2003	MENA-ANMO	Middle East and North Africa
Royaume-Uni	United Kingdom	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
États-Unis d'Amérique	United States of America	1961-2003	OECD-OCDE	OECD 1990
Uruguay	Uruguay	1961-2003	LAM-AL	Latin America
URSS (ex-)	USSR (ex-)	1961-1991	FSU-Ex-URSS	Former Soviet Union
Ouzbékistan	Uzbekistan	1992-2003	FSU-Ex-URSS	Former Soviet Union
Venezuela, République boliv du	Venezuela, Boliv Republic of	1961-2003	LAM-AL	Latin America
Viet Nam	Viet Nam	1961-2003	ASIA-ASIE	Asia
Yémen	Yemen	1961-2003	MENA-ANMO	Middle East and North Africa
Yougoslavie FRS	Yugoslavia SFR	1961-1991	OECD-OCDE	OECD 1990
Zambie	Zambia	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa
Zimbabwe	Zimbabwe	1961-2003	SSA-ASS	Sub-Saharian Africa

Tableau A1.2. Les lignes CDU (Comptes Disponibilité-Utilisation de la FAO) analysées et leur classement en biomasses alimentaires.

Biomasse		Classement	
Nom français	Nom anglais	Compartiment	Espèce d'origine
Blé	Wheat	Végétaux	Cere (céréale)
Riz (Eq blanchi)	Rice (Milled Eq)	Végétaux	Cere
Huile de son de riz	Ricebran Oil	Végétaux	Cere
Orge	Barley	Végétaux	Cere
Maïs	Maize	Végétaux	Cere
Huile de germe de maïs	Maize Germ Oil	Végétaux	Cere
Seigle	Rye	Végétaux	Cere
Avoine	Oats	Végétaux	Cere
Millet	Millet	Végétaux	Cere
Sorgho	Sorghum	Végétaux	Cere
Céréales, Autres	Cereals, Other	Végétaux	Cere
Sons	Brans	Végétaux	Cere
Manioc	Cassava	Végétaux	Root (racine, tubercule)
Pommes de terre	Potatoes	Végétaux	Root
Patate douce	Sweet Potatoes	Végétaux	Root
Ignames	Yams	Végétaux	Root
Racines, autre	Roots, Other	Végétaux	Root
Canne à sucre	Sugar Cane	Végétaux	Suga (plante sucrière)
Betteraves à sucre	Sugar Beet	Végétaux	Suga
Sucre, non-centrifugé	Sugar, Non-Centrifugal	Végétaux	Suga
Sucre, éq. brut	Sugar, Raw Equivalent	Végétaux	Suga
Mélasse	Molasses	Végétaux	Suga
Haricots	Beans	Végétaux	Puls (légumineuse sèche)
Pois	Peas	Végétaux	Puls
Légumineuses, autres	Pulses, Other	Végétaux	Puls
Fruit coque	Treenuts	Végétaux	Olea (oléagineux)
Soja (fèves)	Soyabeans	Végétaux	Olea
Arachide (décortiquées)	Groundnuts (Shelled Eq)	Végétaux	Olea
Tournesol (Graines)	Sunflowerseed	Végétaux	Olea
Colza, moutarde (graines)	Rape & Mustardseed	Végétaux	Olea
Coton (graines)	Cottonseed	Végétaux	Olea
Coco (inclus le coprah)	Coconuts (Incl Copra)	Végétaux	Olea
Sésame (graines)	Sesameseed	Végétaux	Olea
Palme (amandes)	Palmkernels	Végétaux	Olea

Olives	Olives	Végétaux	Olea
Plantes oléifères, autres	Oilcrops, Other	Végétaux	Olea
Huile de soja	Soyabean Oil	Végétaux	Olea
Huile d'arachide	Groundnut Oil	Végétaux	Olea
Huile de tournesol	Sunflowerseed Oil	Végétaux	Olea
Huile de colza, moutarde	Rape & Mustard Oil	Végétaux	Olea
Huile graines de coton	Cottonseed Oil	Végétaux	Olea
Huile de sésame	Sesameseed Oil	Végétaux	Olea
Huiles végétales, Autres	Oilcrops Oil, Other	Végétaux	Olea
Tourteau de soja	Soyabean Cake	Végétaux	Olea
Tourteau d'arachide	Groundnut Cake	Végétaux	Olea
Tourteau de tournesol	Sunflowerseed Cake	Végétaux	Olea
Tourteau de colza et de moutarde	Rape and Mustard Cake	Végétaux	Olea
Tourteau de coton	Cottonseed Cake	Végétaux	Olea
Tourteau de sésame	Sesameseed Cake	Végétaux	Olea
Tourteau, autres	Oilseed Cakes, Other	Végétaux	Olea
Huile de palmistes	Palmkernel Oil	Végétaux	Olea
Huile de palme	Palm Oil	Végétaux	Olea
Huile de coco	Coconut Oil	Végétaux	Olea
Huile d'olive	Olive Oil	Végétaux	Olea
Tourteau de palmiste	Palmkernel Cake	Végétaux	Olea
Tourteau de coprah	Copra Cake	Végétaux	Olea
Tomates	Tomatoes	Végétaux	Vege (légume)
Oignons	Onions	Végétaux	Vege
Légumes, autres	Vegetables, Other	Végétaux	Vege
Oranges, mandarines	Oranges, Mandarines	Végétaux	Frui (fruit)
Citrons, limes	Lemons, Limes	Végétaux	Frui
Pamplemousse	Grapefruit	Végétaux	Frui
Agrumes, autres	Citrus, Other	Végétaux	Frui
Banane	Bananas	Végétaux	Frui
Plantains	Plantains	Végétaux	Frui
Pommes	Apples	Végétaux	Frui
Ananas	Pineapples	Végétaux	Frui
Datte	Dates	Végétaux	Frui
Raisin	Grapes	Végétaux	Frui
Fruits, Autres	Fruits, Other	Végétaux	Frui
Édulcorants, autres	Sweeteners, Other	Végétaux	Othe (Autre)
Miel	Honey	Végétaux	Othe
Piments	Pimento	Végétaux	Othe
Épices, autres	Spices, Other	Végétaux	Othe

Tableau A1.2. Les lignes CDU (Comptes Disponibilité-Utilisation de la FAO) analysées et leur classement en biomasses alimentaires (suite).

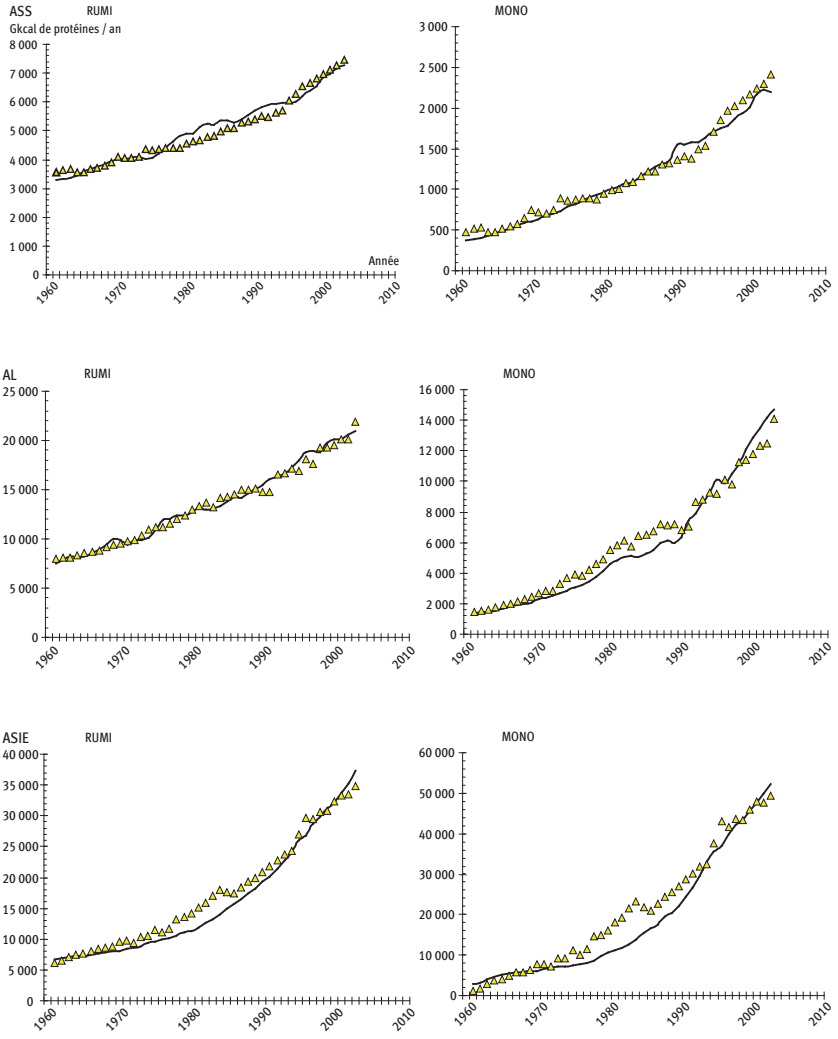
Biomasse		Classement	
Nom français	Nom anglais	Compartiment	Espèce d'origine
Divers alimentaire	Misc. Food	Végétaux	Othe
Café	Coffee	Végétaux	Othe
Fève de cacao	Cocoa Beans	Végétaux	Othe
Thé	Tea	Végétaux	Othe
Poivre	Pepper	Végétaux	Othe
Clou	Cloves	Végétaux	Othe
Vin	Wine	Végétaux	Alco (alcool)
Bière	Beer	Végétaux	Alco
Boissons fermentées	Beverages, Fermented	Végétaux	Alco
Boissons alcoolisées	Beverages, Alcoholic	Végétaux	Alco
Viande de bovins	Bovine Meat	Ruminants	Rumi (ruminant et gros herbivores)
Viande d'ovins, caprins	Mutton & Goat Meat	Ruminants	Rumi
Viande, autres	Meat, Other	Ruminants	Rumi
Abats comestible	Offals, Edible	Ruminants	Rumi
Lait (Excl Beurre)	Milk (Excl Butter)	Ruminants	Rumi
Beurre, Ghee	Butter, Ghee	Ruminants	Rumi
Crème	Cream	Ruminants	Rumi
Graisses animales (Crue)	Fats, Animals (Raw)	Ruminants	Rumi
Farines de viande	Meat Meal	Ruminants	Rumi
Viande de porc	Pigmeat	Monogastriques	Pigs (porc)
Viande de volailles	Poultry Meat	Monogastriques	Poul (volaille)
Œufs	Eggs	Monogastriques	Poul
Poissons d'eau douce	Freshwater Fish	Eaux douces	Aqua (poisson d'eau douce)
Huiles de poissons	Fish, Body Oil	Eaux marines	Mari (produit de la mer)
Huiles de foie de poisson	Fish, Liver Oil	Eaux marines	Mari
Perciform	Demersal Fish	Eaux marines	Mari
Poissons pélagiques	Pelagic Fish	Eaux marines	Mari
Poissons marins, autres	Marine Fish, Other	Eaux marines	Mari
Crustacés	Crustaceans	Eaux marines	Mari
Céphalopodes	Cephalopods	Eaux marines	Mari
Mollusques, autres	Molluscs, Other	Eaux marines	Mari
Viande d'animaux aquatiques	Meat, Aquatic Mammals	Eaux marines	Mari
Animaux Aquatiques, Autres	Aquatic Animals, Other	Eaux marines	Mari
Farines de poisson	Fish Meal	Eaux marines	Mari
Plantes aquatiques	Aquatic Plants	Eaux marines	Mari

Figure A1.1. Comparaison des productions animales observées et simulées (1961-2003)

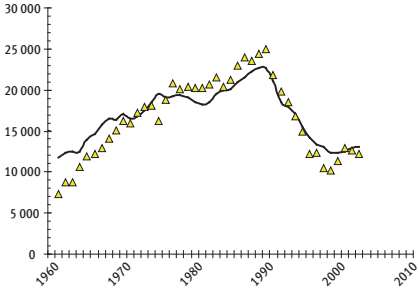
Comparaison des productions animales observées (Gkcal de protéines) et simulées avec les fonctions de production utilisées dans la prospective Agrimonde, suivant 2 catégories d'origine des produits : ruminants et gros herbivores (RUMI), monogastriques (MONO).

Estimation et simulation par région MEA, de 1961 à 2003.

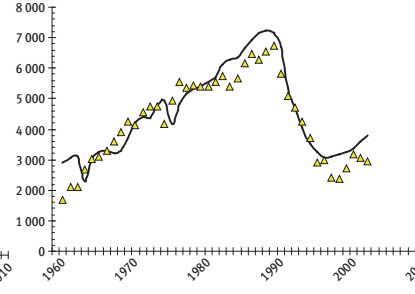
Sources : B. Dorin et T. Le Cotty, à partir de données FAO.



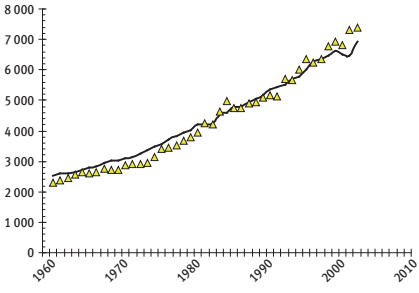
Ex-URSS RUMI



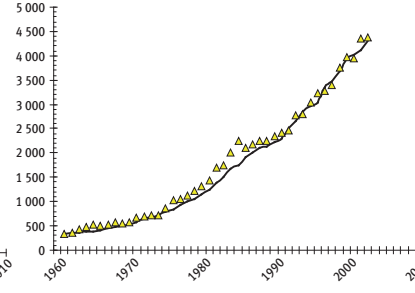
MONO



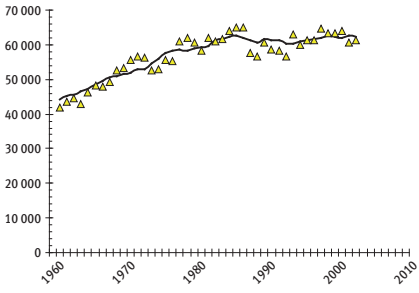
ANMO RUMI



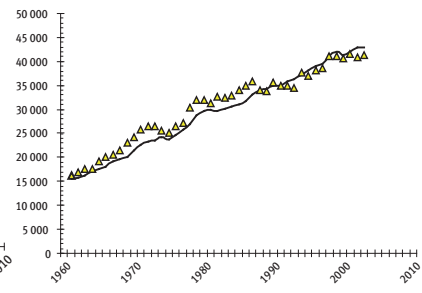
MONO



OCDE RUMI



MONO



Annexe 2

Rétrospective de l'économie alimentaire mondiale

Figure A2.1. Les populations humaines (1961-2005).

Évolution des populations humaines (millions d'habitants) subdivisées en 3 catégories
Estimation Monde [pays Agribiom] et par région MEA.
Source : B. Dorin, calculs avec données FAO.

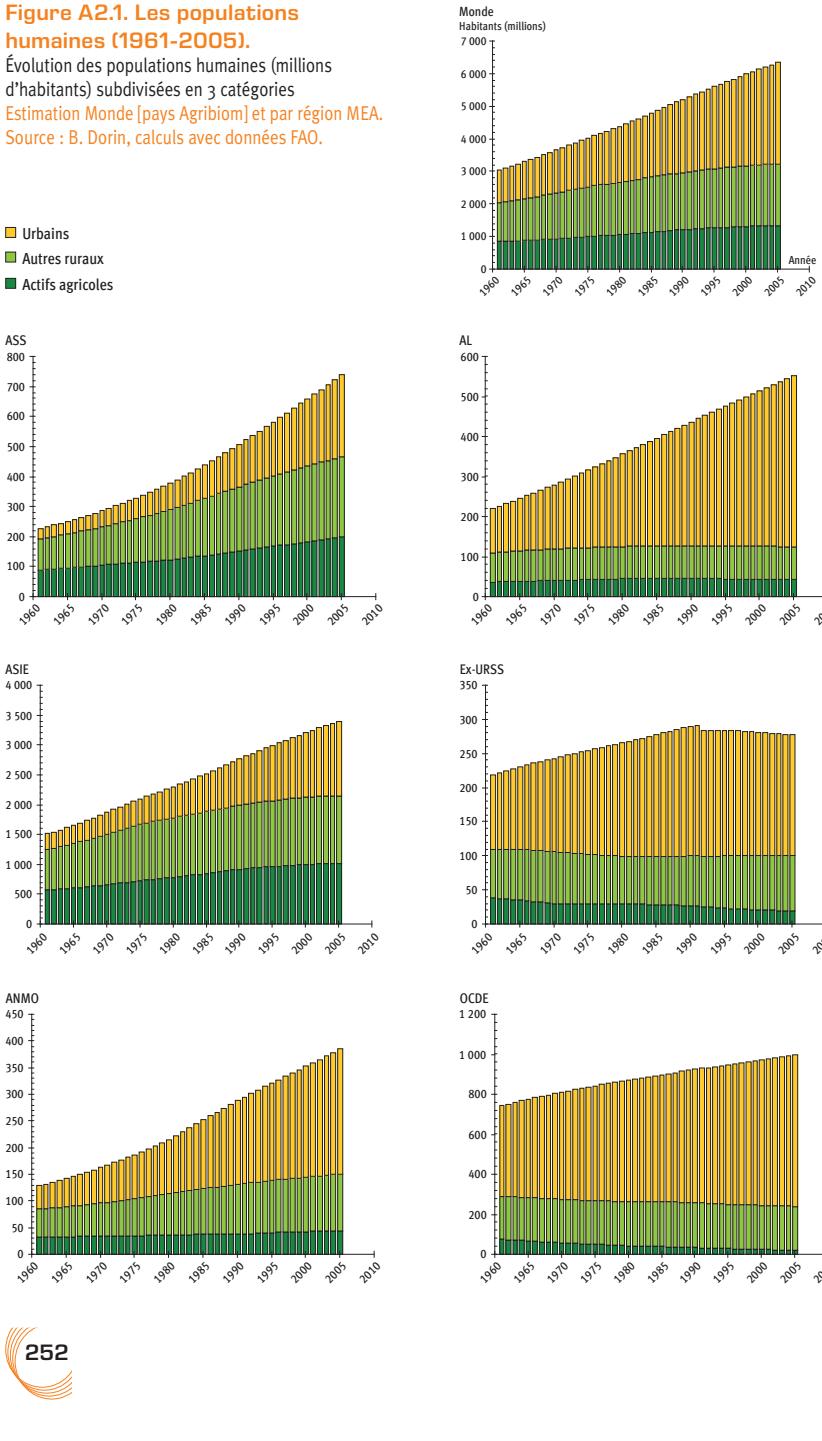


Figure A2.2. Le disponible pour l'alimentation (1961-2003)

Évolution des consommations moyennes apparentes en calories alimentaires (kcal/hab./j) et de leur composition selon 5 catégories d'origine des produits.
Estimation Monde [pays Agribiom] et par région MEA.
Source : B. Dorin, calculs avec données FAO.

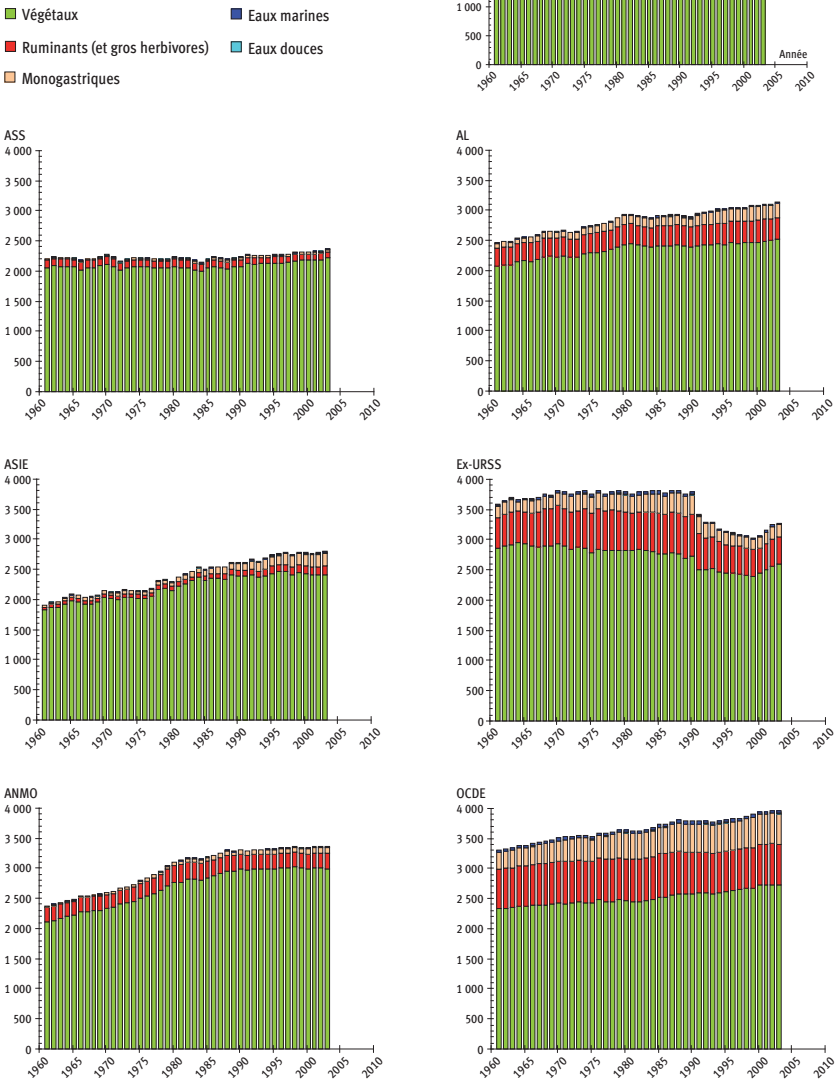
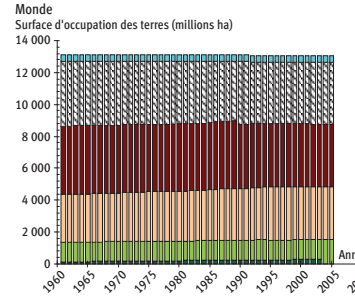
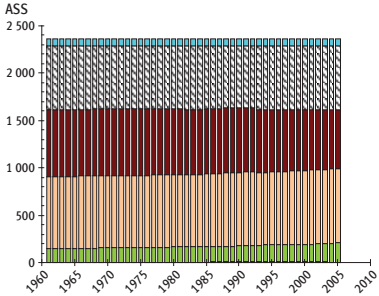
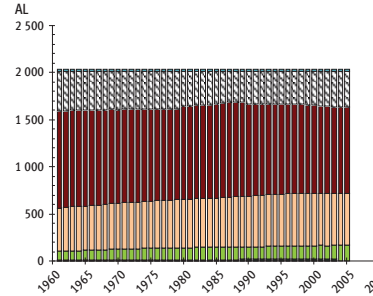


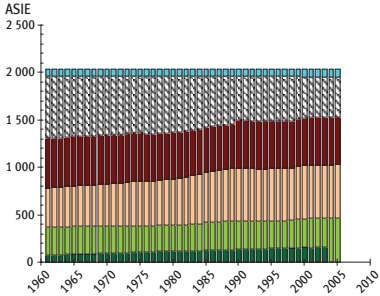
Figure A2.3. L'occupation des terres (1961-2005)

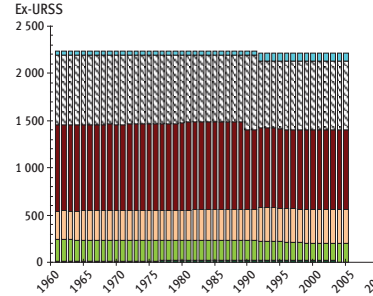
Évolution des surfaces de terres émergées (millions ha) selon 5 catégories d'occupation.
Estimation Monde [pays Agribiom] et par région MEA.
Source : B. Dorin, calculs avec données FAO.

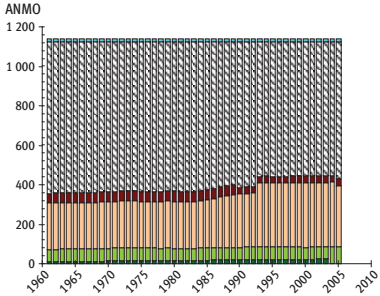












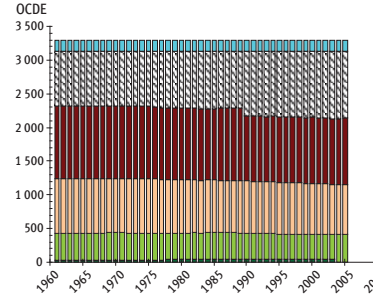


Figure A2.4. Les potentiels cultivables (2000)

Surfaces de terres cultivables subdivisées en 6 catégories de potentiels agricoles

Estimation Monde [pays Agribiom] et par région MEA.
Source : B. Dorin, calculs avec données IIASA-FAO (GAEZ, Fischer *et al.*)

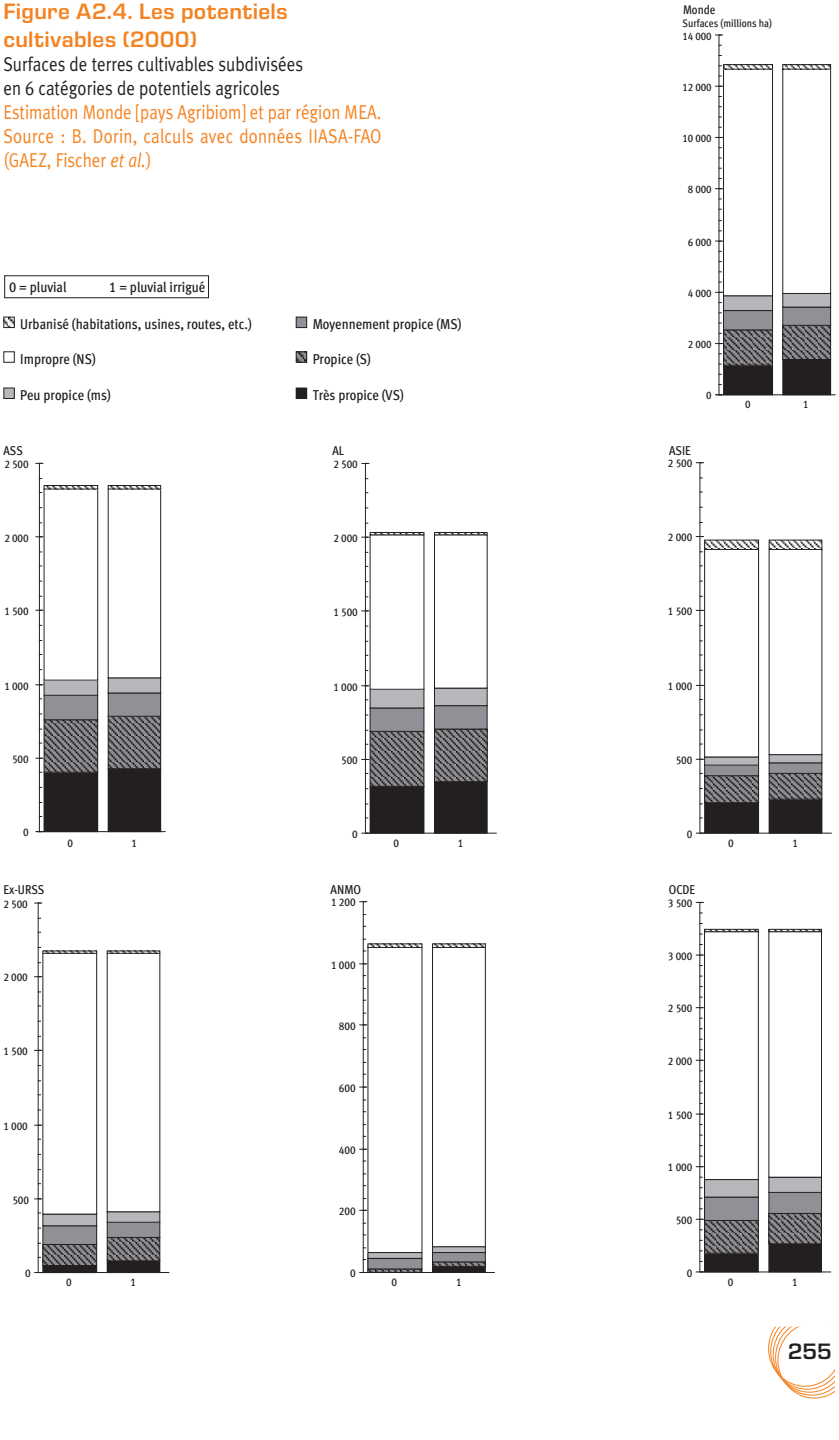


Figure A2.5. Les productions alimentaires (1961-2003).

Évolution des productions brutes de calories alimentaires (Gkcal/j) selon 5 catégories de produits
Estimation Monde [pays Agribiom] et par région MEA.
Source : B. Dorin, calculs avec données FAO.

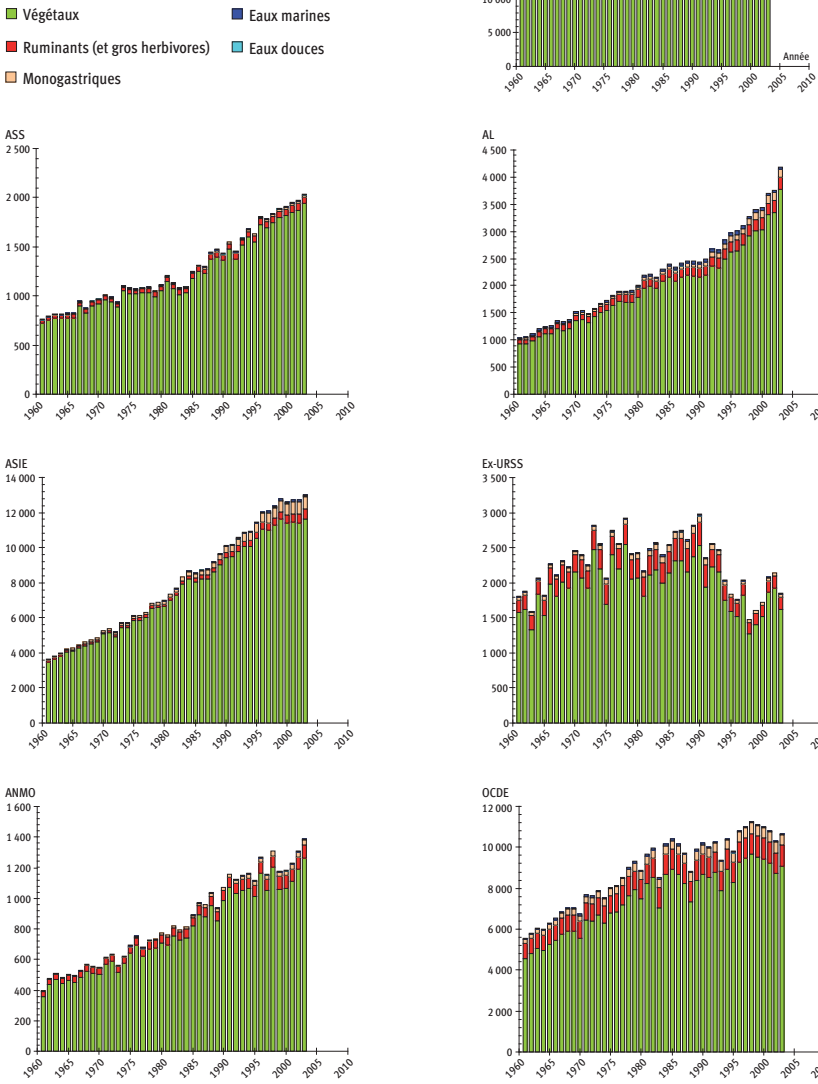
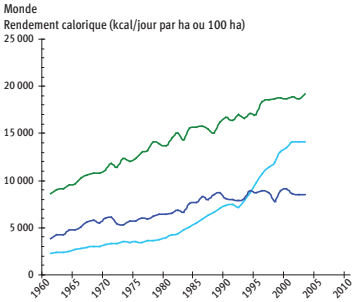


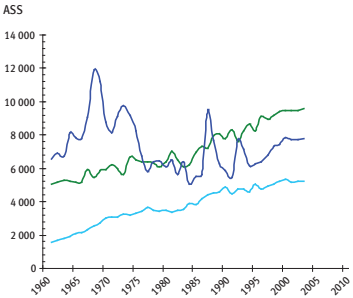
Figure A2.6. La productivité des espaces (1961-2003).

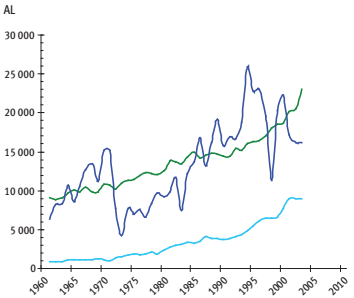
Évolution des productions en calories alimentaires (kcal/jour par hectare ou multiple d'hectare) de 3 grands espaces terrestres

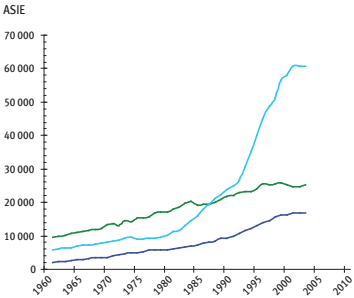
Estimation Monde [pays Agribiom] et par région MEA.
Source : B. Dorin, calculs avec données FAO.

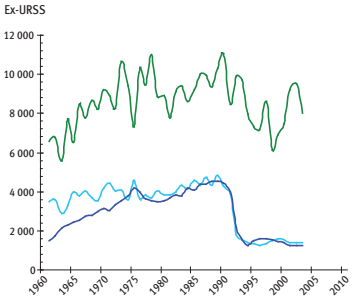
- zones agricoles cultivées (cultures et plantations) : rendement kcal/ha (calories végétales uniquement)
- zones couvertes en eaux douces (lacs, rivières, fleuves...) : rendement kcal/100 ha
- zones de pêche marine (plateaux continentaux) : rendement kcal/100 ha

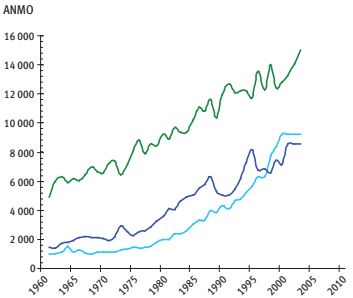












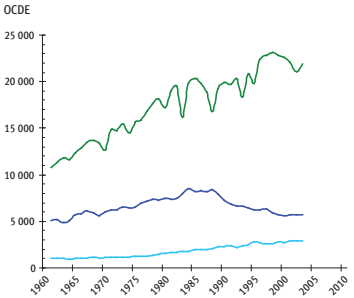


Figure A2.7. L'usage des produits alimentaires végétaux (1961-2003)

Évolution des disponibilités en calories alimentaires végétales (Gkcal/j) et de leur usage selon 6 catégories.
Estimations Monde (pays Agribiom) et par région MEA
Source : B. Dorin, calculs avec données FAO.

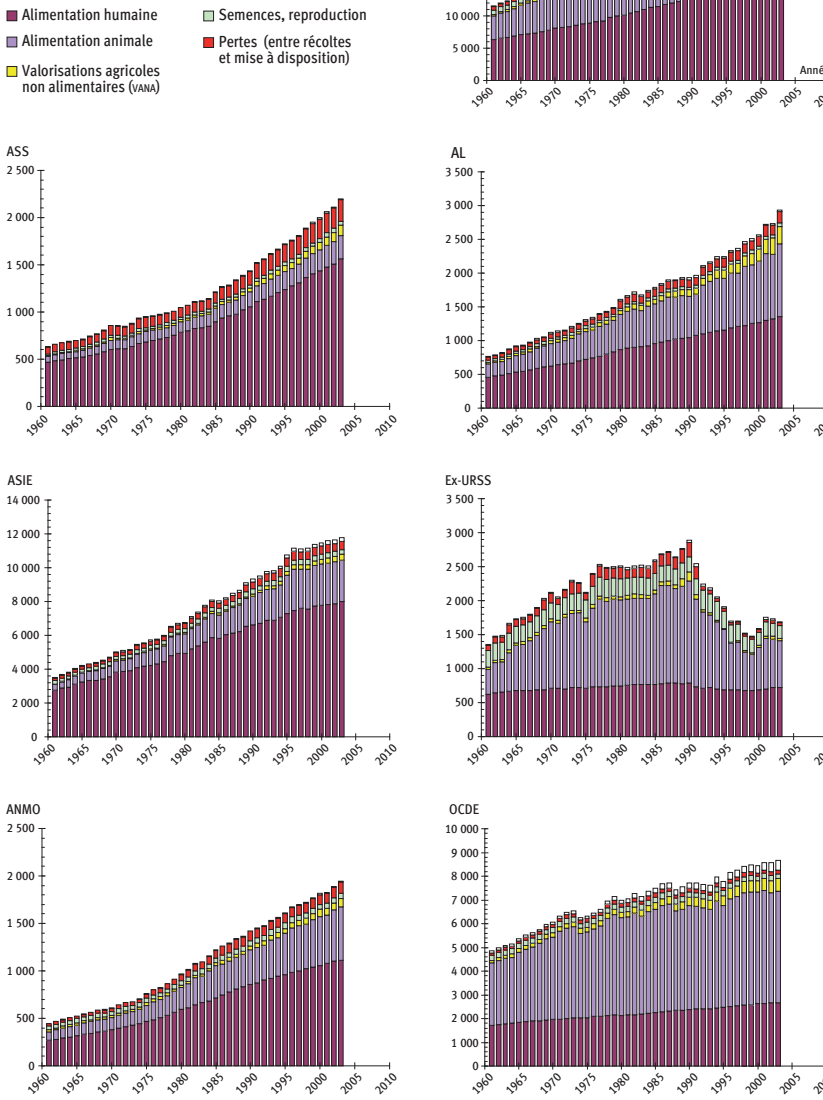


Figure A2.8. Les parts d'usage des produits alimentaires végétaux (1961-2003).

Évolution des parts d'usage de calories alimentaires (usage inventorié/total des usages inventoriés pour 6 rubriques)
FOOD : alimentation humaine ; FEED, alimentation animale ; VANA, valorisation non alimentaire ; SEED, semences ; WAST, pertes (entre récoltes et mises à disposition)
nc, non connu, non inventorié (i.e. Productions + Imports - Exports +/- Stocks - Usages inventoriés)
Estimation par région MEA [pays Agribiom].
Souce : B. Dorin, calculs avec données FAO.

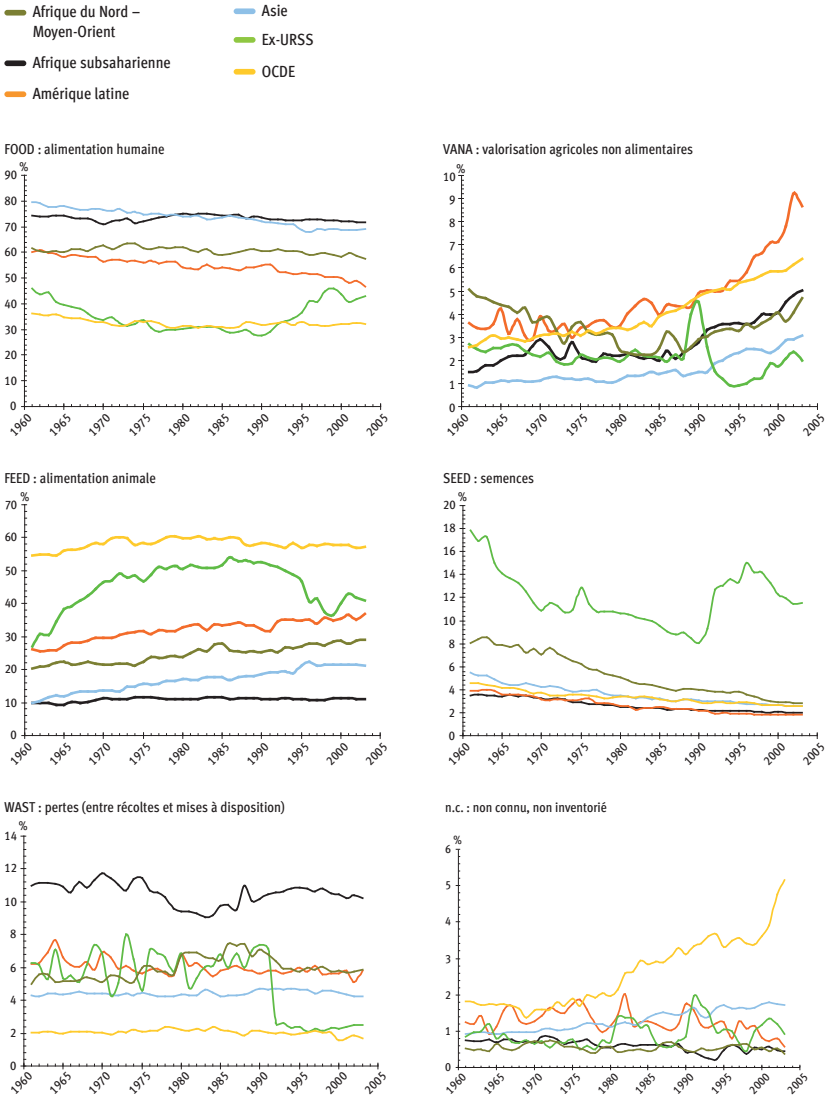


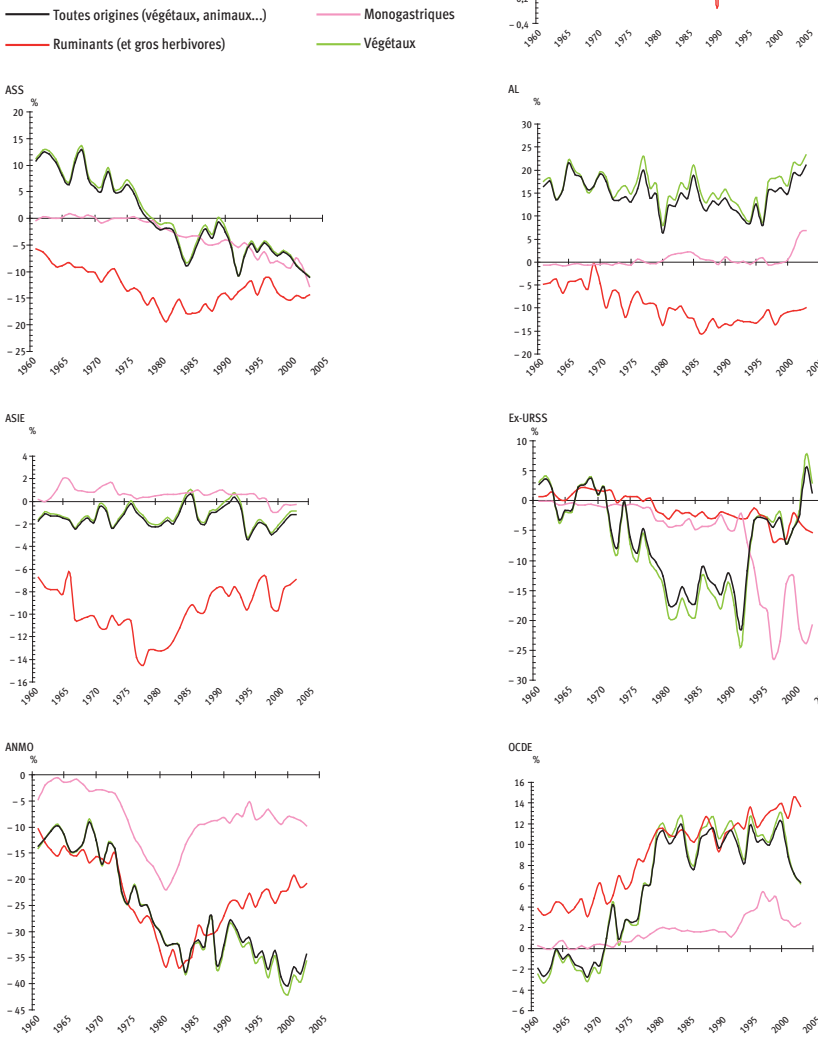
Figure A2.9. Le commerce de produits alimentaires (1961-2003).

Taux d'indépendance en calories alimentaires (%), i.e. Solde exports-imports (Gkcal) / disponibilités (Gkcal) en produits alimentaires ; taux général et selon 3 catégories de produits

Disponibilités = Productions + Imports-Exports +/- Variation de stocks = usages inventoriés et non inventoriés.

Estimation Monde [pays Agribiom] et par région MEA.

Source : B. Dorin, calculs avec données FAO.



Annexe 3

Disponibilités alimentaires et pertes de calories dans le scénario Agrimonde GO - Définition des pertes entre la production et la consommation finale

Traitement des hypothèses de disponibilités alimentaires dans le scénario Agrimonde GO

Les disponibilités totales sur les plans régionaux et mondial sont données dans le rapport du *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA) mais leur décomposition par produit n'y est pas précisée (MEA, 2005b).

Pour quantifier dans chaque région la quantité de calories disponibles par origine (végétale, animale ruminant ou monogastrique, aquatique d'eau douce ou marine) du scénario *Global Orchestration* du MEA, nous avons donc procédé aux extrapolations présentées ci-après.

Les produits d'origine animale

Les évolutions régionales des consommations de viande et de céréales en kilogramme entre 1997 et 2050 sont données dans le rapport du MEA. Ces évolutions dans le scénario *Global Orchestration* ont servi à la quantification des disponibilités en calories d'origine animale du scénario Agrimonde GO. Effectivement, en appliquant ce coefficient d'évolution aux chiffres de disponibilités alimentaires d'origine animale terrestre (viande, lait et produits laitiers, œufs...) de 2000, nous avons pu extrapoler les disponibilités en calories d'origine animale pour chaque région du scénario Agrimonde GO. Les disponibilités alimentaires en 2000 ont été calculées à partir des données FAOSTAT 1 et sont les mêmes dans Agrimonde 1 et Agrimonde GO.

Les produits aquatiques

Concernant les produits aquatiques, les indications qualitatives sur l'évolution de la pêche et de l'aquaculture données dans les scénarios du MEA ont été traduites en taux de croissance annuels des productions régionales. Dans la mesure où l'on suppose, pour simplifier, dans les scénarios Agrimonde que la consommation apparente régionale de produits aquatiques est égale à la production régionale, ces taux de croissance annuels de la production nous ont permis de calculer les disponibilités régionales de calories aquatiques du scénario Agrimonde GO en 2050.

Les produits végétaux

Les disponibilités en calories végétales du scénario Agrimonde GO correspondent aux calories restantes pour atteindre le niveau de disponibilités régionales totales du scénario *Global Orcherstration* du MEA.

Elles résultent donc du calcul suivant [110]:

Disponibilités végétales = Disponibilités totales - Disponibilités animales terrestres - Disponibilités aquatiques

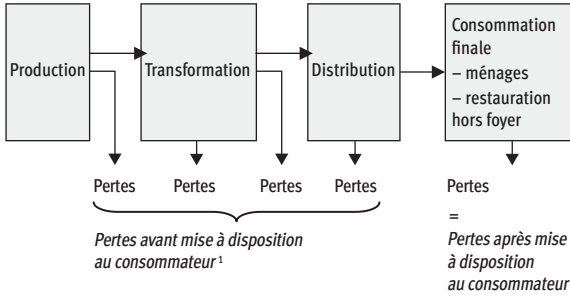
Pertes de calories aux différentes étapes entre la production et la consommation finale

Des estimations de pertes très importantes sont exposées dans certaines sources : une moyenne mondiale de 30 % est estimée par Smil (2000) ; cette perte étant répartie également entre pertes à la récolte et pertes dans la distribution et la consommation.

Ces pertes sont très différentes selon qu'on considère les pays développés ou en développement :

- dans le premier cas, une part importante de pertes a lieu chez le consommateur ou en restauration hors foyer : jusqu'à 30 % aux États-Unis (Kantor *et al.*, 1997) et en Grande-Bretagne, par exemple (WRAP, 2008) ;
- dans les pays en développement, l'essentiel des pertes a lieu au champ (20 à 40 %) puis pendant le transport et le stockage (15 %) (Kader, 2005).

Figure A3.1 Pertes de calories aux différentes étapes entre la production et la consommation finale.



1 - Les pertes avant mise à disposition au consommateur sont recensées dans les statistiques de la FAO. Elles n'incluent ni les pertes au champ, ni les pertes à la consommation finale, et leur moyenne mondiale en 2003 est de 4 % du total des usages. Ces pertes sont prises en compte explicitement dans les hypothèses de bouclage en 2050. N'ayant pas fait l'objet d'une analyse approfondie dans Agrimonde, elles sont représentées de manière très conventionnelle. Dans le scénario Agrimonde 1, elles ne dépassent jamais 4 % du total des usages régionaux – Par hypothèse du scénario Agrimonde 1, le taux de pertes avant mise à disposition du consommateur sur le total des usages dans une région donnée a été fixé à 4 % lorsque sa valeur en 2003 dépassait 4 %, et a été conservé lorsque sa valeur en 2003 était inférieure à 4 % –, dans le scénario Agrimonde GO, le pourcentage régional de 2003 est reconduit en 2050.
2 - Les pertes après mise à disposition au consommateur sont incluses dans les disponibilités alimentaires et ne font pas l'objet de statistiques de la FAO. L'hypothèse de la réduction de ces pertes dans le scénario Agrimonde 1 est un facteur explicatif important de la maîtrise du niveau de disponibilités alimentaires par habitant en 2050 dans ce scénario.

110. Les consommations de produits aquatiques sont faibles en comparaison avec les consommations de produits végétaux ou d'origine animale terrestre. Elles ne dépassent jamais 2 % des calories totales consommées.

Annexe 4

Les surfaces dans le scénario Agrimonde GO

Les statistiques d'usage des sols mobilisées par le MEA et Agribiom présentent trois différences notables :

- les usages des sols définis par la FAO, source d'Agribiom, et ceux définis par le MEA sont différents ;
- le total des surfaces de terre émergée par région est également différent (un écart d'environ 1 à 2 % existe entre les données du MEA et celles de la FAO) ;
- certains pays aux données manquantes ou incertaines ont été éliminés dans Agribiom.

L'ensemble de ces différences aboutit à des écarts notables dans le total des surfaces par région. Les surfaces cultivées en 2000 font apparaître d'importantes différences en Afrique du Nord-Moyen Orient, Ex-URSS et dans une moindre mesure en Amérique latine et en Asie. En moyenne, la surface cultivée d'Agribiom est légèrement inférieure à la surface cultivée du MEA (Tableau A4.1). Les surfaces de pâtures et surtout de forêts sont nettement plus faibles dans Agribiom.

Pour construire le scénario Agrimonde GO à partir des hypothèses d'usage des sols du scénario *Global Orchestration* du MEA mais sur des bases comparables au scénario Agrimonde 1, nous avons apporté les corrections suivantes aux surfaces du MEA :

- un coefficient correcteur régional a été appliqué afin de ramener la surface totale des régions MEA à la surface totale des régions Agribiom ;
- la surface des pays non pris en compte dans Agribiom a été retirée des régions correspondantes du MEA, en tenant compte de l'usage des sols actuels dans ces pays ;
- les surfaces cultivées et pâturées en 2050 dans une région donnée dans le scénario Agrimonde GO ont été obtenues en appliquant au total des surfaces de la région en 2003, le pourcentage de surfaces cultivées, respectivement de surfaces pâturées, du scénario *Global Orchestration* du MEA ;
- les surfaces de forêts, en raison de la forte disparité entre la définition du MEA et la définition d'Agribiom, sont obtenues en appliquant la méthode ci-dessus ainsi qu'un coefficient correctif régional permettant de refléter au mieux l'évolution des surfaces de forêts entre 2000 et 2050.

Le tableau A4.2 page suivante intègre ces quatre niveaux de correction.

Tableau A4.1. Usages des sols en 2000 selon Agribiom et selon le MEA (millions ha).

Régions	Surfaces cultivées[1] (millions ha)		Surfaces pâturées (millions ha)		Forêts (millions ha)	
	MEA	Agribiom	MEA	Agribiom	MEA	Agribiom
Afrique du Nord - Moyen-Orient	94	83	286	555	18	33
Afrique subsaharienne	188	192	917	565	501	637
Amérique latine	172	162	604	781	939	937
Asie	456	454	645	359	459	497
Ex-URSS	216	203	320	327	1 271	843
OCDE	417	418	732	752	1 295	979
Monde	1 543	1 512	3 505	3 339	4 483	3 926

(1) dont SCNA : surfaces cultivées non alimentaires. MEA : *Millenium Ecosystem Assessment.*

Tableau A4.2. Usage des sols en 2050 dans les scénarios Agrimonde GO et *Global Orchestration* du MEA.

Régions	Surfaces cultivées (millions ha)		Surfaces pâturées (millions ha)		Forêts (millions ha)	
	MEA GO	Agrimonde GO	MEA GO	Agrimonde GO	MEA GO	Agrimonde GO
Afrique du Nord - Moyen-Orient	96	93	318	320	9	22
Afrique subsaharienne	301	303	1 205	1 161	276	437
Amérique latine	265	266	545	548	932	931
Asie	498	504	726	735	386	442
Ex-URSS	219	223	208	212	1 389	945
OCDE	457	467	595	608	1 428	1 110
Monde	1 836	1 856	3 596	3 584	4 421	3 887

Annexe 5

Hypothèses des simulations Agrimonde

Équilibrage du bilan ressources-emplois

Principales hypothèses des simulations Agrimonde

Voir tableaux pages suivantes.

Tableau A5.1 Hypothèses liées aux productions de calories alimentaires.

Variables		Régions	1961	2003	2050			
					Agrimonde 1		Agrimonde GO	
					Variante 1	Variante 2	Variante 1	Variante 2
Surfaces (1 000 ha)	Surfaces cultivées	OCDE	426 495	415 865	495 000	495 000	467 000	467 000
		ASS	143 921	202 262	339 000	339 000	303 000	303 000
		Ex-URSS	239 800	201 736	310 000	310 000	223 000	223 000
		ASIE	368 545	461 249	560 000	560 000	504 000	504 000
		AL	102 362	163 882	310 000	310 000	266 000	266 000
		ANMO	73 112	84 049	90 000	90 000	93 000	93 000
		Total	1 354 235	1 529 043	2 104 000	2 104 000	1 856 000	1 856 000
	dont non alimentaires	OCDE	0	0	95 000	95 000	66 000	66 000
		ASS	0	0	39 000	39 000	40 000	40 000
		Ex-URSS	0	0	10 000	10 000	36 000	36 000
		ASIE	0	0	20 000	20 000	28 000	28 000
		AL	0	0	60 000	60 000	47 000	47 000
		ANMO	0	0	200	200	56	56
		Total	0	0	224 200	224 200	217 056	217 056
	Pâtures	OCDE	816 819	736 014	576 000	576000	608 000	608 000
		ASS	767 346	783878	691 000	691 000	1 161 000	1 161 000
		Ex-URSS	302 000	360 193	300 000	300 000	212 000	212000
		ASIE	415 642	564 777	512 000	512 000	735 000	735 000
		AL	461 731	553 323	444 625	444 625	548 000	548 000
		ANMO	234 623	327 803	321 000	321 000	320 000	320 000
		Total	2 998 161	3 325 988	2 844 625	2 844 625	3 584 000	3 584 000

Surfaces (1 000 ha)	Forêts	OCDE	1 070 679	980 752	1 077 644	1 077 644	1 109 987	1109987
		ASS	706 733	625 368	580 425	580 425	436 869	436 869
		Ex-URSS	913 000	842 734	843 000	843 000	945 234	945 234
		ASIE	526 033	499 932	445 434	445 434	441 770	441 770
		AL	1 030 215	922 491	900 000	900 000	931 491	931 491
		ANMO	49 193	33 501	32 965	32 965	21 616	21 616
		Total	4 295 853	3 904 776	3 879 469	3 879 469	3 886 966	3 886 966
Rendements (kcal/ha/j)	VEGE	OCDE	10 742	21 904	22 600	22 600	33 507	33 507
		ASS	5 027	9 582	11 750	11 750	23 133	23 133
		Ex-URSS	6 549	80 26	14 500	14 500	12 825	12 825
		ASIE	9 485	25 251	25 100	25 100	46 416	46 416
		AL	9 041	22 979	23 500	23 500	36 494	36 494
		ANMO	4 921	15 010	14 500	14 500	21 362	21 362
		Total	8 607	19 189	20 027	20 027	32 942	32 942
Productions animales (Gkcal/j)	RUMI	OCDE	711	1 068	519	1 034	1 401	1 735
		ASS	31	70	569	22	361	157
		Ex-URSS	185	160	88	551	291	323
		ASIE	89	500	773	232	1 635	1 481
		AL	80	240	262	447	484	734
		ANMO	33	93	230	26	230	27
		Total	1 128	2 132	2 441	2 312	4 402	4 457
	MONO	OCDE	215	497	113	491	757	1 003
		ASS	4	23	283	0	167	61
		Ex-URSS	43	36	18	139	72	80
		ASIE	39	687	1 145	249	2 554	2 299
		AL	19	137	169	331	350	568
		ANMO	3	33	105	0	105	0
		Total	323	1 412	1 833	1 207	4 005	4 009

Tableau A5.2. Hypothèses liées aux usages de calories alimentaires.

Variables		Régions	1961	2003	2050			
					Agrimonde 1		Agrimonde GO	
					Variante 1	Variante 2	Variante 1	Variante 2
Populations (1 000 hab.)		OCDE	743 048	986 872	1 066 211	1 066 211	1 066 211	1 066 211
		ASS	226 577	705 887	1 662 000	1 662 000	1 662 000	1 662 000
		Ex-URSS	217 854	279012	239 212	239 212	239 212	239 212
		ASIE	1 510 658	3 322 361	4 427 101	4 427 101	4 427 101	4 427 101
		AL	21 9691	537 949	773 659	773 659	773 659	773 659
		ANMO	128 242	371 745	631 964	631 964	631 964	631 964
		Total	3 046 070	6 203 826	8 800 147	8 800 147	8 800 147	8 800 147
Ration humaine (kcal/ hab./j)	VEGE	OCDE	2 325	2 721	2 500	2 500	2 385	2 385
		ASS	2 057	2 218	2 500	2 500	2 667	2 667
		Ex-URSS	2 854	2 586	2 500	2 500	2091	2091
		ASIE	1 821	2 404	2 500	2 500	2 766	2 766
		AL	2 069	2 528	2 500	2 500	2 758	2 758
		ANMO	2 115	2 995	2 500	2 500	2 987	2 987
		Total	2 066	2 488	2 500	2 500	2 698	2 698
	RUMI	OCDE	659	675	251	251	925	925
		ASS	121	102	129	129	214	214
		Ex-URSS	503	451	251	251	947	947
		ASIE	54	149	159	159	428	428
		AL	297	357	251	251	507	507
		ANMO	235	249	222	222	319	319
		Total	264	265	180	180	461	461
	MONO	OCDE	282	512	200	200	703	703
		ASS	17	33	350	350	69	69
		Ex-URSS	196	213	212	212	349	349
		ASIE	25	209	253	253	443	443
		AL	87	240	207	207	385	385
		ANMO	21	96	238	238	123	123
		Total	104	233	259	259	373	373

Utilisations totales (Gkcal/j)	VEGE	OCDE	5 164	8 669	4856	8 590	10 939	13 357
		ASS	632	2 191	7515	4 426	7 378	6 084
		Ex-URSS	1 251	1 580	1017	3 900	2 118	2 318
		ASIE	3 695	11 807	16732	13 554	23 009	22 094
		AL	954	3 109	3977	5 425	5 930	79 13
		ANMO	493	1 985	3 549	1 752	4 176	2 223
		Total	12 190	29 341	37 646	37 646	53 551	53 990
	RUMI	OCDE	730	953	445	445	1 425	1 425
		ASS	34	82	243	243	405	405
		Ex-URSS	171	171	66	66	290	290
		ASIE	61	542	795	795	2 208	2 212
		AL	97	267	273	273	534	534
		ANMO	43	117	178	178	254	254
		Total	1 135	2 132	2 000	2 000	5 116	5 120
	MONO	OCDE	183	484	187	187	733	729
		ASS	7	26	609	608	122	122
		Ex-URSS	33	49	40	40	73	73
		ASIE	19	688	1 122	1 122	1 980	1 980
		AL	13	127	158	159	301	302
		ANMO	2	37	157	157	81	81
		Total	257	1 412	2 274	2 273	3 291	3 287
dont alimentation animale (Gkcal/j)	VEGE	OCDE	2 608	4712	1 311	4 672	6 911	9 093
		ASS	62	245	2906	0	1 720	639
		Ex-URSS	365	686	350	2761	1 370	1 537
		ASIE	342	2 449	3 896	1033	8 324	7 509
		AL	199	1 078	1328	2586	2 730	4 427
		ANMO	90	561	1706	0	1 700	0
		Total	3 665	9 731	11 497	11 052	22 755	23 206
dont VANA (Gkcal/j)	VEGE	OCDE	123	528	284	497	635	775
		ASS	9	110	0	0	301	249
		Ex-URSS	36	34	17	68	36	39
		ASIE	31	353	419	335	574	545
		AL	27	252	283	385	421	561
		ANMO	22	91	0	0	171	91
		Total	249	1 368	1 003	1 284	2 138	2 260

Les étapes de l'équilibrage du bilan ressources-emplois selon les deux variantes

Variante 1

Étape 1 : calcul des besoins

Les besoins en calories végétales liés à l'alimentation des animaux sont calculés de façon à ce que la production de calories animales de la région soit égale aux besoins en calories animales de cette région. On utilise les fonctions de production pour induire la quantité d'alimentation du bétail permettant de produire la production animale visée (fixée par hypothèse), étant donné la surface en pâture (fixée par hypothèse).

Tous les autres besoins en calories végétales et animales sont fixés par hypothèse du groupe d'experts.

Étape 2 : équilibrage des bilans régionaux par les échanges

Calories végétales. Deux cas peuvent se produire :

- la production de calories végétales de la région ne couvre pas la totalité des besoins en calories végétales de la région ; la région importe alors les calories végétales correspondant à la différence entre tous les besoins (définis ci-dessus) et les ressources végétales initiales de la région ;
- la production de la région couvre ces besoins. La région peut exporter les calories correspondant à la différence entre sa production végétale et ses besoins régionaux définis ci-dessus.

Calories animales. L'équilibre des calories est assuré à l'étape 1. Chaque région produit exactement les calories animales qu'elle utilise.

Étape 3 : équilibrage global

Le solde mondial des échanges permet de vérifier si le total des emplois est compatible avec le total des ressources. Si les besoins et les ressources de chaque région sont équilibrés – après échange – cela conduit à un bilan global équilibré, et alors les hypothèses quantitatives du scénario sont cohérentes. La quantité de calories exportables est égale aux besoins d'importations. Dans le cas contraire, le solde mondial peut être interprété par le groupe (le scénario est excédentaire ou déficitaire).

Variante 2

Les étapes du bilan sont présentées ci-dessous.

Étape 1 : calcul des besoins en calories

Les besoins en calories végétales et animales sont tous fixés par hypothèse sauf les besoins en calories végétales pour l'alimentation animale.

Étape 2 : équilibrage des bilans régionaux par les échanges

Trois cas peuvent se produire :

- la production végétale de la région ne couvre pas les besoins de l'alimentation humaine en calories végétales. Dans ce cas, la région importe les calories végétales correspondant aux besoins humains (tous usages sauf alimentation animale). Sa production animale est calculée par les fonctions de production en utilisant les pâtures (fixées par hypothèse dans le scénario) mais pas d'autres calories végétales. Elle importe les calories animales qu'il lui manque pour satisfaire ses besoins ;
- la production végétale régionale couvre les besoins humains en calories végétales mais pas les besoins en alimentation animale (pour couvrir les besoins en calories animales de la population régionale). La région importe alors les calories animales nécessaires pour couvrir ses besoins ;
- la production végétale régionale suffit pour couvrir les besoins humains en calories végétales et les besoins de l'alimentation animale (pour couvrir les besoins de la région en calories animales).

La région exporte alors (à part égale de toutes les régions dans ce cas) les calories végétales nécessaires pour satisfaire les besoins des régions importatrices de calories végétales et utilise tout le reste pour sa production animale. L'excédent de production animale est exportable.

Étape 3 : équilibre global

Le solde mondial des échanges permet de vérifier si le total des emplois est compatible avec le total des ressources. Si les besoins et les ressources - après échange - de chaque région sont équilibrés, cela conduit à un bilan global équilibré, et les hypothèses quantitatives du scénario sont cohérentes. Dans le cas contraire, le solde mondial peut être interprété par le groupe (le scénario est excédentaire ou déficitaire).

Annexe 6

Hypothèses d'évolution pour les dimensions qualitatives des scénarios Agrimonde

Dans la grille du système Agrimonde (Tableau 1.1), un premier ensemble de variables regroupe les facteurs de natures contextuelle et globale, tandis que les autres ensembles réunissent des variables qui se situent davantage au cœur des systèmes agricoles et alimentaires. Cette grille permet d'explorer les dimensions qualitatives du scénario Agrimonde 1 laissées ouvertes par les premières étapes de la construction des scénarios [principes de construction (Chapitre 4), quantification (Chapitre 5 à 8) et analyse en termes de confrontation, de cohérence et de facteurs d'évolution (Chapitre 9)]. Pour Agrimonde GO, excepté les hypothèses associées aux évolutions démographiques (qui sont les mêmes que dans le scénario Agrimonde 1 de sorte que les pressions démographiques soient semblables), les hypothèses sur les variables qualitatives sont proposées sur la base du récit du scénario *Global Orchestration* tel qu'il est décrit dans le rapport du MEA (MEA, 2005b).

Le contexte mondial

Une croissance forte dans les deux scénarios, mais des dynamiques de populations urbaines et rurales distinctes

Dans l'exploration prospective réalisée dans les chapitres précédents, la population mondiale fait l'objet d'une hypothèse quantitative identique dans les deux scénarios envisagés (environ 9 milliards d'habitants dans le monde en 2050). Les hypothèses relatives à l'exode rural, la croissance économique et la répartition des revenus au niveau mondial sont assez contraintes par les principes de construction des scénarios et les hypothèses quantitatives sur les emplois et ressources agricoles. Ainsi, Agrimonde 1 correspond plutôt à un scénario de stabilisation du rythme de l'exode rural contrairement à Agrimonde GO dans lequel il s'accélère, les progrès techniques dans l'agriculture y étant à la fois très rapides et orientés vers une substitution capital-travail.

Dans le scénario Agrimonde 1, le développement agricole, couplé à une hausse des consommations alimentaires en kilocalorie dans les régions situées aujourd'hui en dessous de la moyenne mondiale, apparaît complémentaire d'une croissance économique mondiale forte et d'une répartition plus équitable des revenus. Dans la région OCDE, qui voit son niveau moyen de consommation en kilocalorie réduit de près d'un quart, il aurait été envisageable de faire une hypothèse de décroissance. Toutefois, étant donné le rythme de développement des autres régions, il apparaît plus cohérent d'imaginer que l'ampleur des débouchés industriels et de services, mais aussi agricoles (puisque les régions Asie, Afrique du Nord - Moyen-Orient et Afrique subsaharienne restent déficitaires), permise par le décollage économique dans les autres régions, tire la croissance

Tableau A6.1. Le contexte mondial.

	Agrimonde GO	Agrimonde 1
Population	9 milliards d'habitants (la moitié en Asie)	9 milliards d'habitants (la moitié en Asie)
Urbanisation et exode rural	Accélération	Stabilisation
Croissance économique	Très forte	Forte, tirée par la croissance des pays en développement
Progrès des connaissances	Très soutenus	Très soutenus
Répartition des revenus	Plus équitable grâce au recul de la pauvreté rurale	Beaucoup plus équitable grâce au recul de la pauvreté rurale et la réduction des inégalités Nord-Sud
Prix agricoles	Blé et maïs en hausse - riz et produits animaux en baisse(1)	Tendance à la hausse des prix réels - Avec forte volatilité en début de période

(1) Ces évolutions résultent des simulations réalisées dans le cadre du MEA.

des pays riches. En outre, la baisse du niveau moyen de kilocalories consommées dans cette région est associée à une amélioration de la qualité des produits consommés et est donc compatible avec des niveaux de budgets alimentaires moyens des ménages stables ou même croissants. Une croissance économique mondiale très forte est une des hypothèses de construction du scénario Agrimonde GO ; elle tient à la fois au rythme du progrès technique et à la libéralisation des échanges et permet, par hypothèse (forte), de susciter le décollage économique et par suite une répartition plus équitable des revenus dans le monde.

Le rythme du progrès des connaissances, très rapide par construction dans Agrimonde GO, semble aussi devoir l'être dans Agrimonde 1. Il a dû se traduire par une amélioration des infrastructures marchandes et institutionnelles, une élévation des niveaux de qualification ou encore des transferts d'innovations dans les pays en développement. Il a aussi permis d'améliorer l'efficacité énergétique et de développer des énergies en substitut aux énergies d'origine fossile et limitant les émissions de gaz à effet de serre. Plus généralement, la protection de l'environnement et des ressources naturelles étant une priorité forte dans ce scénario, une multitude d'innovations doivent se développer pour permettre des modes de production plus durables des biens et services.

Le mode de quantification des scénarios Agrimonde ne permet pas de déterminer l'évolution des prix agricoles, les bilans ressources-emplois n'étant pas des équilibres de

marchés. La pression démographique et l'augmentation du niveau moyen de revenu par tête sous-tendues par le scénario quantitatif, du côté de la demande, et le type de progrès technique envisagé (innovations cherchant à répondre à des objectifs multiples, plutôt qu'à l'objectif central d'augmentation des rendements), du côté de l'offre, amènent à privilégier une hypothèse de tendance à la hausse des prix agricoles sur le moyen-long terme. En outre, on peut imaginer que la répétition des crises alimentaires telles que celle vécue en 2008 soit un des facteurs d'émergence du scénario Agrimonde 1, qui pourrait donc être caractérisé par une forte volatilité des prix en début de période. Pour Agrimonde GO, les travaux du MEA, qui ont reposé sur une modélisation économique, se veulent plus précis sur l'évolution des prix. Si les tensions liées à la demande se traduisent par une hausse des prix du blé et du maïs, le progrès technique permet une baisse des prix du riz et des produits animaux.

Les régulations internationales

Dans les deux scénarios, la coopération internationale favorise les échanges, elle est couplée à des régulations environnementales ambitieuses dans Agrimonde 1

Les formes prises par les relations politiques internationales sont assez ouvertes dans le scénario Agrimonde 1 ; elles doivent néanmoins permettre non seulement des échanges massifs de produits agricoles (plus importants que dans Agrimonde GO), mais aussi des régulations environnementales très ambitieuses, qui sont peu présentes dans Agrimonde GO. Elles se caractérisent donc quel que soit le scénario par un haut niveau de coopération internationale. Toutefois, cette coopération peut *a priori* aussi bien être impulsée par un acteur dominant ou bien résulter d'une configuration géopolitique multipolaire. Les régulations internationales doivent en outre s'accompagner, dans les deux scénarios de transferts massifs de capitaux Nord-Sud, le développement étant une des priorités des scénarios.

Dans Agrimonde 1, les régulations des échanges agricoles doivent à la fois :

- empêcher des distorsions de prix défavorables au développement de l'agriculture dans les pays en développement ;
- permettre des exceptions temporaires pour les pays dont le développement repose essentiellement sur l'agriculture ;
- permettre de révéler les coûts environnementaux associés aux activités agricoles pour inciter les agriculteurs à développer des systèmes d'exploitation plus durables.

Les scénarios laissent très ouvertes les modalités concrètes de mise en œuvre des régulations internationales. On peut imaginer pour Agrimonde 1 une organisation du commerce international fonctionnant à partir de modalités institutionnelles proches de celles du début du XXIe siècle ou bien au contraire une transformation radicale de celles-ci avec par exemple la création d'une organisation des échanges agricoles chargée de garantir la sécurité alimentaire.

Tableau A6.2. Les régulations internationales.

	Agrimonde GO	Agrimonde 1
Relations politiques internationales	La coopération multilatérale prévaut	Coopération internationale forte
Organisation du commerce international	Libéralisation	Libéralisation mais fortes exceptions à la fois pour les pays à vocation agricole et pour préserver l'environnement
Accords internationaux sur le climat	Aucun	Ambitieux
Accords internationaux sur la biodiversité	Aucun	Ambitieux
Gouvernance et gestion des risques sanitaires	Efficace grâce à la coordination mondiale et au progrès technique	Efficace grâce à la coordination mondiale et à la résilience des écosystèmes
Gouvernance et gestion des ressources marines	En réaction aux crises écologiques	Proactives et efficaces
Transfert de capitaux Nord - Sud	Important	Important

Les dynamiques de la production agricole

La production est au cœur du système Agrimonde, donc fortement contrainte par les principes de construction des scénarios et leurs hypothèses quantitatives. Les dynamiques de la transformation sont en revanche très ouvertes dans les deux scénarios.

Des scénarios d'agricultures très dynamiques, qui se distinguent par les modes de valorisation des sols et les formes sociales de production

Les surfaces totales de production agricole (terres cultivées et pâtures) ont davantage augmenté dans Agrimonde GO que dans Agrimonde 1. En effet, l'extension plus forte des surfaces cultivées dans Agrimonde 1 est en bonne partie compensée par la diminution des surfaces en pâture. Comme il a été souligné dans le chapitre 9, Agrimonde GO et Agrimonde 1 correspondent à deux stratégies bien différenciées d'arbitrage entre l'augmentation des surfaces cultivées et l'accroissement des rendements. Dans Agrimonde GO, les surfaces cultivées augmentent de façon plus modérée que dans Agrimonde 1 mais les rendements y progressent bien plus nettement grâce à des technologies de production permettant de substituer du capital au travail et d'augmenter fortement la production à l'hectare. Les technologies de production dans Agrimonde 1 reposent sur l'intensification écologique ; elles doivent permettre de maintenir, voire d'augmenter les rendements tout en limitant de façon déterminante la dépendance vis-à-vis des énergies fossiles et plus généralement l'apport d'intrants, et les impacts des activités agricoles sur les écosystèmes.

Tableau A6.3. Les dynamiques de la production agricole.

	Agrimonde GO	Agrimonde 1
Surfaces de production	Maintien des pâtures et extension des surfaces cultivées (en agrocarburants pour les deux tiers)	Forte diminution des pâtures et forte extension des surfaces cultivées (en agrocarburants pour un peu plus d'un tiers)
Investissements dans les exploitations agricoles	Importants surtout dans l'irrigation	Importants surtout dans les pays en développement
Investissements dans les infrastructures et biens publics	Importants surtout dans les pays en développement et pour l'irrigation	Importants dans les pays en développement Tournés vers la multifonctionnalité dans les pays riches
Formes sociales de production	Forte présence de formes capitalistiques	Diversité Forte composante de l'agriculture paysanne dans les pays en développement
Techniques de production	Intensification, standardisation technologique et fort essor des OGM	Ingénierie écologique, biotechnologies, adaptation locale
Transformation (industries agroalimentaires) : organisation et technologies de production	Concentration, automatisation des procédés, recherche d'économies d'échelle	Diversité des formes entrepreneuriales - Recherche d'économie de variété, valorisation des coproduits et des déchets

Dans les deux scénarios, les investissements dans la production agricole au niveau des exploitations mais aussi des infrastructures, ont fortement augmenté, notamment dans les pays en développement. Si l'irrigation représente un poste d'investissement assez important dans Agrimonde GO, ce n'est le cas qu'en Afrique subsaharienne dans Agrimonde 1. Dans ce dernier scénario, en effet, les technologies de production privilégient la conservation de l'eau dans les écosystèmes et des assolements adaptés. La multifonctionnalité de l'agriculture dans les pays riches s'accompagne d'investissements importants dans l'entretien des paysages, la prévention des risques naturels et plus généralement la gestion collective des ressources naturelles.

Les principes de construction des scénarios impliquent des formes sociales de production très contrastées dans les deux scénarios, Agrimonde GO étant caractérisé par une industrialisation de l'agriculture tandis qu'Agrimonde 1 repose donc sur des formes sociales de production plus variées.

Des industries agroalimentaires aux évolutions déterminantes pour l'avenir mais difficiles à appréhender

Les deux scénarios restent flous en ce qui concerne l'organisation industrielle et les technologies de production dans le secteur de la transformation, même si ces dimensions seront déterminantes pour l'avenir des systèmes agricoles et alimentaires et de l'emploi rural. Si la concentration, l'automatisation des procédés et la recherche d'économies d'échelle apparaissent comme une évolution cohérente avec l'esprit du scénario Agrimonde GO, Agrimonde 1 correspond davantage à un scénario de diversité des formes entrepreneuriales, où petites et moyennes entreprises, coopératives et firmes multinationales coexistent. Les technologies de production y sont plutôt tournées vers la recherche d'économies de variété ou encore d'une valorisation des coproduits et des déchets.

Les dynamiques de la consommation de biomasse

Des comportements alimentaires dans la tendance dans Agrimonde GO, en rupture dans Agrimonde 1

Agrimonde GO se veut un scénario plutôt tendanciel dans le domaine des consommations alimentaires alors qu'Agrimonde 1 envisage des transformations importantes des régimes et comportements alimentaires, notamment dans les régions marquées par une baisse de l'apport calorique total. Pour certains, Agrimonde 1 correspond plutôt à un scénario dans lequel les consommateurs des pays riches réinvestissent du temps dans la préparation des repas, achètent davantage de produits bruts dans des circuits de distribution plus courts, etc. Pour d'autres, la restauration hors-foyer est un vecteur privilégié de transformation des comportements alimentaires et de diffusion des messages de politiques nutritionnelles.

Dans le monde du scénario Agrimonde GO, les citoyens ont confiance dans la science pour gérer les risques sanitaires ou environnementaux. De son côté, le scénario Agrimonde 1, dans ses principes de construction, ne dit rien sur la sensibilité des citoyens aux questions sanitaires. En revanche, la protection de l'environnement étant une priorité, les citoyens d'Agrimonde 1 y sont très sensibles, ce qui se traduit à la fois dans leurs comportements de consommation et dans la pression qu'ils exercent sur les décideurs publics.

Dans les deux scénarios, besoins énergétiques et alimentaires n'entrent pas en concurrence mais pour des raisons différentes

La demande de biomasse à des fins énergétiques a beaucoup progressé en 2050 par rapport au début du siècle dans les deux scénarios[2] ; elle n'est cependant pas entrée en

2. Les surfaces occupées par les cultures pour la production d'agrocarburants sont du même ordre au niveau mondial dans les deux scénarios Agrimonde ; par rapport aux autres scénarios du MEA, les surfaces en agrocarburants dans *Global Orchestration* sont supérieures à celles des scénarios *Order from Strength* et *TechnoGarden* mais inférieures à celles d'*Adapting Mosaic*.

concurrence avec la demande alimentaire même si les raisons diffèrent d'un scénario à l'autre. Dans Agrimonde GO, ce sont les progrès des rendements qui permettent de satisfaire les deux types de besoins. Dans le scénario Agrimonde 1, seules les régions ayant un potentiel agricole permettant des bilans emplois-ressources excédentaires produisent des agrocarburants pour le marché de l'énergie. Non seulement les autres régions en produisent peu mais aussi, quand elles le font c'est à des fins d'autonomie énergétique des exploitations agricoles. Des hypothèses très contrastées peuvent être faites concernant la consommation industrielle de biomasse (hors énergie) dans les deux scénarios même si Agrimonde 1 correspond plutôt à un scénario dans lequel la recherche de substituts aux hydrocarbures encourage le remplacement de la carbochimie traditionnelle par la carbochimie biomasse.

Tableau A6.4. Les dynamiques de la consommation de biomasse.

	Agrimonde GO	Agrimonde 1
Pratiques de consommation et régimes alimentaires	Forte augmentation de l'apport calorique total et de la consommation de viandes et de poissons	Transformations importantes, notamment liées à la réduction de la pauvreté et, pour les plus riches, aux préoccupations nutritionnelles
Sensibilité de la société aux questions sanitaires	Confiance dans la capacité de la science à y répondre	
Sensibilité de la société aux questions environnementales	Confiance dans la capacité de la science à y répondre	Forte, l'environnement est une priorité sociétale
Consommation de biomasse pour la production d'énergie	Importante	Importante, tournée vers l'autonomie des exploitations agricoles dans les régions déficitaires en calories alimentaires
Consommation de biomasse pour la production de biens industriels		La carbochimie biomasse remplace partiellement la carbochimie pétrole

Les stratégies des acteurs

Des échanges encouragés quel que soit le scénario malgré des philosophies politiques opposées

Les stratégies des acteurs publics et privés dans le domaine agricole et alimentaire sont des facteurs déterminants dans les deux scénarios selon des logiques opposées. Dans

Agrimonde GO, les soutiens à la production agricole ont progressivement disparu pour respecter les accords commerciaux internationaux. L'action publique est généralement réactive, que ce soit en matière nutritionnelle, énergétique (se contentant d'encourager les gains d'efficacité énergétique pour faire face à la raréfaction des énergies fossiles) et environnementale.

Dans Agrimonde 1, les échanges de produits agricoles doivent être fortement encouragés et les soutiens directs à la production sont donc voués à disparaître (ils n'ont été autorisés que le temps du décollage agricole dans les pays les plus dépendants de l'agriculture). Pourtant, la libéralisation des échanges n'est pas allée de pair avec une moindre intervention des États. Cette dernière est déterminante et proactive, axée sur le développement régional, la protection des écosystèmes, l'adaptation et la lutte contre le changement climatique. À cet égard, une hypothèse de politiques ambitieuses visant au déploiement des énergies renouvelables sur une base décentralisée serait assez cohérente dans Agrimonde 1, notamment dans les pays où les problèmes d'accès à l'énergie sont aujourd'hui un des obstacles au développement, mais aussi dans les villes, au travers de la valorisation des déchets ou encore de l'autonomie énergétique des bâtiments. Pour les transports, on peut imaginer qu'à l'horizon 2050, les véhicules électriques se seront généralisés, grâce à des investissements massifs dans la recherche publique et à des politiques de soutien aux investissements privés pour lever les obstacles techniques et économiques associés aux piles à combustible (longévité des piles, production durable, distribution et stockage sûrs d'hydrogène, etc.). Enfin, les politiques nutritionnelles sont également très ambitieuses dans Agrimonde 1 selon des modalités concrètes qui restent à explorer ; elles ont dû se montrer très innovantes par rapport à ce qu'elles étaient au début du siècle puisqu'elles ont réellement infléchi les comportements alimentaires et plus généralement les modes de vie.

Un pouvoir d'influence des acteurs privés plus équilibré dans Agrimonde 1

Dans Agrimonde GO, les grandes entreprises d'envergure internationale accroissent leur poids dans la chaîne de valeur agroalimentaire, les autres acteurs, susceptibles de peser sur les politiques publiques, tels que les organisations professionnelles agricoles ou les ONG sont plus en retrait (même si les ONG de développement ont été des acteurs importants pour mettre le développement au premier plan des agendas politiques internationaux). Le pouvoir d'influence des acteurs privés semble devoir être plus équilibré dans Agrimonde 1. D'un côté, le secteur agroalimentaire n'a pas vécu le mouvement de concentration propre à Agrimonde GO, une variété d'acteurs (en termes de produits offerts, de taille et de formes entrepreneuriales) coexistant. D'un autre côté, si les organisations professionnelles agricoles ont vu leur pouvoir se renforcer nettement dans les pays en développement (pour permettre de rééquilibrer l'influence respective des citadins et des ruraux sur les politiques), il s'est vraisemblablement trouvé contrecarré par les ONG environnementales dans les pays riches.

Tableau A6.5. Les stratégies des acteurs.

		Agrimonde GO	Agrimonde 1
Stratégies des États	Politiques agricoles	Baisse marquée des soutiens	Baisse marquée des soutiens à la production mais réformes agraires et protections tarifaires des productions locales dans les pays en développement à vocation agricole Rémunération des services environnementaux (multifonctionnalité et développement régional)
	Politiques sanitaires et nutritionnelles	Réactives, notamment face à l'épidémie d'obésité	Très actives et efficaces
	Politiques énergétiques	Recherche d'une meilleure efficacité énergétique	Très actives : recherche-développement, substitution des énergies renouvelables aux énergies fossiles, efficacité énergétique
	Politiques environnementales	Réactives	Proactives : couplées aux politiques de développement et d'aménagement du territoire
Stratégies des acteurs privés	Rôle des organisations professionnelles agricoles		Important surtout dans les pays en développement
	Stratégies des Firmes multinationales	Les FMN accroissent leur contrôle sur la production agricole	Forte segmentation des marchés et diversité d'acteurs
	Rôle des ONG	Rôle important des ONG de développement	Rôle important des ONG de développement et de protection de l'environnement

FMN : firme multinationale.

Les connaissances et technologies dans le champ de l'agriculture et de l'alimentation

Des scénarios d'effort de recherche et d'innovation très important, pour des finalités différentes et des modes spécifiques de production et de diffusion des savoirs

Dans les deux scénarios, l'effort de recherche et d'innovation dans les domaines agricole et alimentaire a dû être massif et en bonne partie international. Il a été complémentaire d'un investissement important dans la formation des agriculteurs dans les pays en

Tableau A6.6. Les connaissances et les technologies dans le champ de l'agriculture et de l'alimentation.

	Agrimonde GO	Agrimonde 1
Investissements dans la recherche-développement publique et privée	Forts (publics et privés)	Forts (publics et privés) et orientés par des politiques publiques
Objectifs des innovations	Augmenter les rendements	Intensification écologique
Statut du vivant dans les droits de propriété intellectuelle	Le renforcement des DPI commence à être mis en cause par les pays en développement en fin de période	Systèmes de DPI avec fortes exceptions (santé publique, développement, environnement)
Orientations de la recherche agronomique	Génie génétique, agrochimie, techniques d'irrigation, etc.	Connaissances du fonctionnement des écosystèmes (écologie, génomique), ingénierie écologique, biotechnologies
Formation des agriculteurs	Importante mais peu tournée vers la gestion de l'environnement, standardisation des compétences	Très importante dans les pays en développement comme dans les pays riches
Lieux et acteurs de l'innovation et de sa diffusion	Laboratoires publics et privés de recherche, centres de formation agricole	Multiples (chercheurs, formateurs, professionnels) et interactifs (clusters, communautés de pratiques et épistémiques très internationalisées)

développement. La sécurité alimentaire mondiale est en effet un défi majeur dans ces deux scénarios et elle repose sur la valorisation de la diversité des potentiels agricoles dans le monde. Toutefois, si, dans Agrimonde GO, l'objectif des innovations est principalement l'augmentation des rendements, celle-ci doit être compatible avec les objectifs de protection des écosystèmes et de moindre dépendance aux intrants dans Agrimonde 1. En outre ces finalités font l'objet de fortes incitations au travers de politiques d'orientation de la recherche publique et privée, dans des cadres nationaux mais aussi internationaux. L'intensification écologique et les progrès décisifs dans la connaissance des écosystèmes qu'elle suppose, reposent sur une transformation des modes de production et de diffusion des connaissances et nécessite une formation poussée des agriculteurs dans les régions en développement comme dans les pays riches.

Les champs de connaissances à développer dans le domaine nutritionnel pour faire d'Agrimonde 1 un scénario possible, restent flous. Toutefois, on imagine que, dans ce scénario, le défi que représente la lutte contre l'obésité n'a pu être relevé que sur la base d'avan-

cées décisives des connaissances, y compris sur les comportements alimentaires, en appui aux politiques publiques. Au-delà du champ nutritionnel à proprement parler, le scénario Agrimonde 1 suppose des innovations organisationnelles dans le circuit transformation-distribution pour réduire significativement les pertes et déchets à ces niveaux.

Dans Agrimonde GO, le renforcement des DPI (droits de propriété intellectuelle), y compris dans le champ du vivant, est l'un des facteurs à l'origine de l'effort de recherche et d'innovation ; il est cependant contesté par les pays en développement, selon le récit du scénario *Global Orchestration* proposé par les experts du MEA. Dans Agrimonde 1, si la quantification des hypothèses et les principes du scénario ne permettent pas de tirer des leçons précises sur l'évolution des DPI, le scénario serait cohérent avec une hypothèse de renforcement des possibilités d'exception pour faire face à des problèmes majeurs de santé publique mais aussi environnementaux ou encore de sécurité alimentaire, quand l'impossibilité d'acquérir des licences menace les capacités de développement agricole.

Le développement durable

Réduire la pauvreté et protéger l'environnement : un arbitrage dans Agrimonde GO, des synergies mais aussi des compromis dans Agrimonde 1

Dans les deux scénarios, des progrès décisifs ont été réalisés en matière de réduction de la pauvreté et de la malnutrition. Ceux-ci ont été réalisés au détriment d'autres objectifs comme la protection des écosystèmes, la lutte contre le réchauffement climatique ou encore la maîtrise de l'épidémie d'obésité dans Agrimonde GO. Agrimonde 1, au contraire, explore la complémentarité de ces objectifs. Pourtant, la protection des écosystèmes risque de limiter le développement agricole, notamment en Afrique subsaharienne. La limitation des gains de rendements est compensée par une forte expansion des surfaces cultivées, qui pose des problèmes de durabilité en termes d'émission de gaz à effet de serre et de biodiversité.

Dans Agrimonde GO, la forte croissance économique se traduit par une explosion de la demande énergétique qui est avant tout satisfaite par les énergies fossiles (dont le charbon) même si les agrocarburants se développent et que les énergies renouvelables représentent au total 10 % de l'énergie consommée en 2050. Par conséquent, c'est dans ce scénario du MEA que le réchauffement climatique est le plus marqué. Contrairement à Agrimonde GO, la lutte contre le changement climatique est une priorité dans Agrimonde 1 et les investissements massifs dans le développement de nouvelles sources d'énergie permettent de limiter les émissions de gaz à effet de serre. Il n'en reste pas moins que l'inertie associée aux évolutions climatiques, à l'horizon 2050, couplée à une connaissance encore parcellaire de ce phénomène et de ses conséquences, empêche d'affirmer que le réchauffement sera plus marqué dans Agrimonde GO que dans Agrimonde 1. Agrimonde 1, en tant que scénario de rupture et très exigeant en matière d'actions publi-

ques, est typiquement un scénario qui émerge en réponse à des situations de crise. Ainsi, on peut imaginer, qu'une accélération du changement climatique au début du XXIe siècle soit une des crises à l'origine du scénario. Même si d'autres conjectures sont envisageables, on peut aussi faire l'hypothèse que la lutte active contre le changement climatique commence à avoir des effets sur l'évolution du climat aux alentours de 2050.

Tableau A6.7. Les dynamiques du développement durable.

		Agrimonde GO	Agrimonde 1
Conservation de la biodiversité		Dégradation	Pertes de biodiversité sauvage ; gains de biodiversité domestique
Emissions de gaz à effet de serre et climat		Très forte augmentation des GES (+ 50 %)	Après un pic des émissions en 2020, déclin des GES en dessous du niveau de 2000
		Réchauffement très important (le plus élevé parmi les 4 scénarios du MEA)	Accélération du changement climatique dans le premier quart de siècle, les effets des politiques de lutte ne se font sentir que vers 2050
Fertilité des sols		Dégradation par produits chimiques et pratiques agricoles	Diminution de l'érosion et de la salinisation par les pratiques de l'intensification écologique
Eau (disponibilité et qualité)		Prélèvements plus importants (grâce à une disponibilité plus importante du fait du réchauffement climatique)	Amélioration des fonctionnalités des écosystèmes liées à l'eau
		Dégradation de la qualité	Meilleure gestion de la ressource
			Faible développement de l'irrigation
Équité sociale	Satisfaction des besoins essentiels (alimentation, santé, emploi, éducation)	Amélioration avec réduction des inégalités	Amélioration avec réduction des inégalités
	Qualité de vie : lieux de vie, culture, relations sociales	Amélioration mais problèmes de durabilité des mégalopoles, des pollutions, etc.	Amélioration avec valorisation de la diversité culturelle, nouvelles relations ville-campagne

Bibliographie

Altieri M.A., 1987. *Agroecology : the Scientific Basis of Alternative Agriculture*, Westview Press, Boulder, USA, 227 p.

Basdevant A., 2003. *Obésité humaine : origine et conséquences. In : Pour une approche scientifique de l'obésité*, A. Basdevant, D. Ricquier, eds., Annales de l'Institut Pasteur-Actualités, Elsevier, Paris, 11-26.

Bhadwal S., Anantram K., Nair S., Kumar V., Kulkar U., 2006. *Mapping Climate Vulnerability and Poverty in Africa*. Report to the Department for International Development, International Livestock Research Institute, Nairobi, Kenya, 171 p.

Bouwman A.F., Hoek K.W.V.d., Eickhout B., Soenario I., 2005. Exploring Changes in World Ruminant Production Systems. *Agricultural Systems*, 84 (2) : 121-153.

Brown L., 1995. Who Will Feed China: *Wake-Up Call for a Small Planet*, Worldwatch Environmental Alert Series, W.W. Norton & Company, 163 p.

Caron P., Reig E., Roep D., Hediger W., Le Cotty T., Barthélémy D., Hadynska A., Hadynski J., Oostindie H., Sabourin E., 2008. Multifunctionality: Refocusing a Spreading, Loose and Fashionable Concept for Looking at Sustainability ?. *International Journal of Agricultural Resources*, *Governance and Ecology,* 7 (4-5) : 301-318.

Challinor A.J., Wheeler T.R., Garforth C., Craufurd P., Kassam A., 2007. Assessing the Vulnerability of Food Crop Systems in Africa to Climate Change, *Climatic Change,* 83 : 381–399.

CIHEAM, 2008, Mediterra 2008. *Les futurs agricoles et alimentaires en Méditerranée,* Centre international des hautes études agronomiques méditerranéennes, Presses de Sciences Po, Paris, 368 p.

CIRAD-GRET-MAE, 2002. *Mémento de l'agronome*, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Groupe de recherche et d'échanges technologiques, Ministère des affaires étrangères, Quae, 5e édition, Versailles, 1 692 p.

Cline W.R., 2007. Global Warming and Agriculture: Impacts Estimates by Country, Peterson Institute for International economics, 250 p.

Collomb P., 1999. Une voie étroite pour la sécurité alimentaire d'ici à 2050, *Economica*, Paris, 197 p.

Combris P., Amiot-Carlin M.-J., Caillavet F., Causse M., Dallongeville J., Padilla M., Renard C., Soler L.G., 2008. Les fruits et légumes dans l'alimentation. Enjeux et déterminants de la consommation, *Collection Expertises collectives*, Éditions Quae, Versailles, 128 p.

Commissariat général du Plan, 2004, La méthode des scénarios, outils d'une démarche prospective, *Les dossiers d'Aleph*, 1 : 16 p.

Conway G., 1998. *The Doubly Green Revolution: Food for all in the Twenty-first Century,* Penguin Books, London, 335 p.

Cosgrove W.J., Rijsberman F.R., 2000. *World Water Vision: Making Water Everybody's Business*, World Water Council, Earthscan Ltd, London, 108 p.

Crombie L.K., Irvine L., Elliott L., Wallace H., 2005. *Public Health Policy to Tackle Obesity : An International Perspective,* University of Dundee, NHS Scotland, 73 p.

D'Arcy M., Harduar P., Orloff M., and. Rozas A.K, 2006. *The Move towards Obesity: the Nutrition Transition in China,* Paper prepared for the International Economic Development Program, Ford School of Public Policy, University of Michigan, 28 p.

Deaton A., Dreze J., 2009. Food and Nutrition in India: Facts and Interpretations. *Economic & Political Weekly,* 44 (7) : 42-65.

De Jouvenel H., 1999. La démarche prospective : un bref guide méthodologique. *Futuribles,* 247 : 47-68.

Dekhili S., 2004. *Contribution des politiques de sécurité alimentaire au bien-être des populations : le cas de la Tunisie,* Mémoire de recherche de DEA EGDAAR, Université Montpellier I, SupAgro-Montpellier.

Delgado C., Rosegrant M., Steinfeld H., Ehui S., Courbois C., 1999. *Livestock to 2020. The Next Food Revolution. Food, Agriculture, and the Environment* Discussion Paper 28, International Food Policy Research Institute, Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Livestock Research Institute, Whashington D.C., USA, 72 p.

Dériot G., 2005. *La prévention et la prise en charge de l'obésité,* Rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des politiques de santé, 8 (2005-2006), 204 p.

Delpeuch F., Maire B., Monnier E., Holdsworth M., 2009. *Globesity: a Planet out of Control ?* Earthscan Ltd., London, 178 p.

Devendra C., Sevilla C.C., 2002. Availability and Use of Feed Resources in Crop-animal Systems in Asia. *Agricultural systems*, 71 (1-2) : 59-73.

Dorin B., 1999. Food Policy and Nutritional Security. The Unequal Access to Lipids in India. *Economic and Political Weekly*, 34 (26) :1709-1717.

Dorin B., Brunelle T., Crassous R., Gitz V., Hourcade J.-C., Le Cotty T., 2009. Compétition énergie-alimentation dans l'usage des sols. Eléments d'analyse et de modélisation des perspectives globales de développement des biocarburants. *Cahiers de l'Énergie,* Conseil français de l'Énergie, World Energy Council, Paris, 137-298.

Dorin B., Gitz V., 2008. Écobilans de biocarburants : une revue des controverses. *Natures Sciences Sociétés,* 16 (4) : 337-347.

D4E, 2006. Changement climatique et usages des terres : vers le modèle Nexus Land Use, Direction des études économiques et de l'évaluation environnementale, ministère de l'Écologie, du développement et de l'aménagement durables, *collection Études et Synthèses,* 122 p.

EEA, 2001. *Scenarios as Tools for International Environmental Assessments*, European Environment Agency, Environmental Issue Report, 24, 31 p.

EEA, 2007. *Land-use Scenarios for Europe: Qualitative and Quantitative Analysis on a European Scale*, European Environment Agency, Technical Report, 9, 75 p.

Eshel G., Martin P.A, 2006. *Diet, Energy and Global Warming. Earth interactions*, 10 (9) : 1-17.

Falkenmark M., 1995. *Coping with Water Scarcity under Rapid Population Growth, In:* Conference of Ministers responsible for Water of the Southern Africa Development Community, 23-24 November 1995, Pretoria, South Africa.

FAO, 2000. *The State of Food and Agriculture 2000, Lessons from the Past 50 Years*, Agricultural and Development Economics Working Papers, 32, Food and Agriculture Organization, Rome, 313 p.

FAO, 2001. *Climate Variability and Change: a Challenge for Sustainable Agricultural Production. In:* Proceedings of the 16th Session of the Committee of Agriculture, 26-30 March 2001, Rome.

FAO, 2003a. World Agriculture: Towards 2015/2030. *A FAO Perspective*, J. Bruinsma (eds), Earthscan Ltd, London, 444 p.

FAO, 2003b. *FAO Methodology for the Measurement of Food Deprivation,* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistics division, Rome, 12 p.

FAO, 2004. *Food security as Rural Development Strategy. In : Proceedings of the 28th FAO Regional Conference for Latin America and the Caribbean,* 26-30 April 2004, Guatemala City, Guatemala.

FAO, 2008. *Hunger on the Rise,* Briefing paper, 17 September, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 6 p.

FAO, 2009. *The State of Food Insecurity in the World, Economic Crisis. Impacts and Lessons Learned,* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 56 p.

Fischer G., Shah M., Tubiello F.N., Velhuizen H. van, 2005. Socioeconomic and Climate Change Impacts on Agriculture : an Integrated Assessment 1990-2080. *Philosophical Transactions of the Royal Society B,* 360(1463) : 2067–2083.

Fischer G., Shah M., Velthuizen H. van., Nachtergaele F.O., 2001. *Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century,* International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, 44 p.

Fischer G., Velthuizen H. van., Nachtergaele F.O., 2000. *Global Agro-Ecological Zones Assessment: Methodology and Results,* Interim Report 00-064, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, 314 p.

Fischer G., Velthuizen H. van., Shah M., Nachtergaele F.O., 2002. *Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results*, Research Report RR-02-02, International Institute for Applied Systems Analysis and Food and Agriculture Organization of the United Nations, Laxenburg, 119 p.

Griffon M., 2002. Révolution verte, *Révolution doublement verte* : Quelles technologies, institutions et recherche pour les agricultures de l'avenir ? *Mondes en développement,* 1 (117) : 39-44.

Griffon M., 2006. *Nourrir la planète. Pour une révolution doublement verte,* Odile Jacob, Paris, 455 p.

Hoogwijk, M., Faaij A., Eickhout B., de Vries B., Turkenburg W., 2005. Potential of Biomass for Energy out to 2100, for Four IPCC SRES Land-use Scenarios. *Biomass and Bioenergy,* 29(4) :225-257.

Horrigan L., Lawrence R.S., and Walker P., 2002. How Sustainable Agriculture can Address the Environmental and Human Health Harms of Industrial Agriculture. *Environmental Health Perspectives,* 110(5) :445-456.

IAASTD, 2009. *Agriculture at a Crossroads, Global Report,* B.D. McIntyre, H.R. Herren, J. Wakhungu, R.T. Watson, eds., International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development, Island Press, Washington DC, 606 p.

INSERM, TNS Healthcare, Roche, 2003, ObEpi Roche, *Enquête épidémiologique nationale sur l'obésité et le surpoids en France 2003,* Une enquête INSERM/TNS HEALTHCARE SOFRES/Roche.

INSERM, TNS Healthcare, Roche, 2009. ObEpi Roche 2009, *Enquête épidémiologique nationale sur le surpoids et l'obésité,* Une enquête INSERM/TNS HEALTHCARE (KANTARHEALTH)/Roche, 52 p.

IPCC, 2000, Special Report on Emissions Scenarios. *A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, N. Nakicenovic, R Swart, eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 570 p.

IPCC, 2001. *Climate Change 2001 : Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,* J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken, K.S. White, eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1 032 p.

IPCC, 2007a. *Climate Change 2007 : Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment,* R.K. Pachauri, A. Reisinger, eds., Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 104 p.

IPCC, 2007b. *Climate Change 2007 : Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,* M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, C.E. Hanson, eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 p.

IPCC, 2007c. *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,* S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 996 p.

Johnson F.X., Chen Y., Zuzarte F., 2008. *Biofuels, Land Use, and Sustainable Development in Asia and Africa.* UNEP/GRID-Arendal, Environment and Poverty Times, 5 : 16-17.

Jones T.W., 2004. *Using Contemporary Archaeology an Applied Anthropology to Understand Food Loss in the American Food System*, Bureau of Applied Research in Anthropology, University of Arizona, 9 p.

Just R.E., Zilberman D., Hochman E., 1983. Estimation of Multicrop Production Functions. *American Journal of Agricultural Economics*, 65(4) : 770-780.

Kader A.A., 2005. Increasing Food Availability by Reducing Post Harvest Losses of Fresh Produce, In: Proceedings of the 5th International Postharvest Symposium, F. Mencarelli, P. Tonutti, eds., Acta Horticulturae, 682, International Society for Horticultural Science.

Kantor L., Lipton K., Manchester A., Oliveira V., 1997. Estimating and Adressing America's Food Losses. *Food Review,* 20(1) : 2-11.

Kelly T., Yang W., Chen C.S., Reynolds K., He J., 2008. Global Burden of Obesity in 2005 and Projections to 2030. *International Journal of Obesity,* 32(9) : 1431-1437.

Koning N.B.J., Ittersum M.K. van, Becx G. A., Boekel M.A.J.S. van, Brandenburg W.A., Broek J.A. van den, Goudriaan J., Hofwegen G. van, Jongeneel R.A., Schiere J.B., Smies M., 2008. *Long-term Global Availability of Food: Continued Abundance or New Scarcity ?* NJAS Wageningen Journal of Life Sciences, 55(3) : 229-292.

Ladha J.K., Dawe D., Pathak H., Padre A.T., Yadav R.L., Bijay-Singh, Yadvinder-Singh, Singh P., Kundu A.L., Sakal R., Ram N., Bhattarai E.M., Gupta R.K., and Hobbs P.R, 2003. How Extensive Are Yield Declines in Long-term Rice-wheat Experiments in Asia ? *Field Crops Research,* 81(2-3) : 159-180.

Lahmar R., 2006. Opportunités et limites de l'agriculture de conservation en Méditerranée. Les enseignements du projet KASSA. *In : Troisièmes rencontres méditerranéennes du semis direct,* J.L Arrue Ugarte, C. Cantero Martínez, eds., Zaragoza, CIHEAM-IAMZ, 11-18 (options méditerranéennes, série A., Séminaires Méditerranéens, 69).

Latham M.C., 1997. *Human Nutrition in the Developing World,* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 515 p.

Lobell D.B., Burke M.B., Tebaldi C., Mastrandrea M.D., Falcon W.P., Naylon R.L., 2008. *Prioritizing Climate Change Adaptation Needs for Food Security in 2030*, Science, 319(5863) : 607–610.

Luyten J.C., 1995. *Sustainable World Food Production and Environment,* Internal Report 37. DLO-Inst. for Agrobiological and Soil Fertility Research, Wageningen, the Netherlands, 127 p.

Malassis L., Padilla M., 1986. *Économie agroalimentaire. L'économie mondiale (III)*, Cujas, Paris, 449 p.

McCalla A.F., Revoredo C.L., 2001. *Prospects for Global Food Security. A Critical Appraisal of Past Projections and Predictions,* International Food Policy Research Institute. 2020 Discussion Paper, 35, Washington DC., USA, 71 p.

McNeely J.,Scherr S., 2003. *Ecoagriculture: Strategies to Feed the World and to Save Biodiversity,* Island Press, Washington DC, USA, 290 p.

MEA, 2005a. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis, Millennium Ecosystem Assessment,* Island Press, Washington DC, USA, 155 p.

MEA, 2005b. *Ecosystems and Human Well-being: Scenarios, volume 2*, S.R. Carpenter, P.L. Pingali, E.M. Bennett, M.B. Zurek, eds., *Millennium Ecosystem Assessment*, Island Press, Washington DC, 560 p.

MEA, 2005c. *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends, volume 1,* R. Hassan, R. Scholes, N. Ash, eds., *Millennium Ecosystem Assessment*, Island Press, Washington DC, USA, 917 p.

Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens III W.W., 1972. *The Limits to Growth,* Universe Books, New York, 205 p.

Ministère de la santé et des solidarités, 2006, *Deuxième Programme national nutrition santé 2006-2010. Actions et mesures*, 51 p.

Mishra S., 2007. *A Brief History of Production Functions*. Munich Personal RePEc Archive Paper 5254, North-Eastern Hill University, Shillong (India), 9 October, 23 p.

Murdiyarso D., 2000. Adaptation to Climatic Variability and Change: Asian Perspectives on Agriculture and Food Security. *Environmental Monitoring and Assessment,* 61(1) : 123-131.

Myers N., 1991. *Population, Resources and the Environment: The Critical Challenge*, United Nations Fund for Population Activities, New York, 154 p.

OECD, 2008, *Promoting Sustainable Consumption. Good Practices in OECD Countries*, Organisation for Economic Co-operation and Development, 62 p.

Olshansky S.J, Passaro D.J., Hershow R.C., Layden J., Carnes B.A., Brody J., Hayflick L., Butler R.N., Allison D.B., Ludwig D.S., 2005. A Potential Decline in Life Expectancy in the United States in the 21st Century. *The New England Journal of Medicine*, 352(11) : 38-45.

Parry M.L., Rosenzweig C., Iglesias A., Livermore M., Fischer G., 2004. Effects of Climate Change on Global Food Production under SRES. Emissions and Socio-economic Scenarios, *Global Environmental Change*, 14 : 53-67.

Pimentel D., Pimentel M., 1996. *Food, Energy and Society, revised edition*, CO University Press of Colorado, Niwot, 363 p.

Popkin B.M., 1993. Nutritional patterns and transitions. *Population and Development Review,* 19(1) : 138-157.

Popkin, B.M., 2008. Will China's Nutrition Transition Overwhelm Its Health Care System and Slow Economic Growth? *Health Affairs*, 27(4) : 1064-1076.

Rastoin J.-L., 2007. Risks and Food Safety in a Context of Globalization: towards a Political and Strategic Approach. *In: Mediterra, Identity and Quality of Mediterranean Foodstuffs,* B. Hervieu, eds., les Presses de Sciences Po, Paris, 27-68.

Rosegrant M.W., Cai X., Cline S.A., 2002. *World Water and Food to 2025: Dealind with Scarcity,* International Food Policy Research Institute, Library of Congress Cataloging in Publication Data, 322 p.

Rosegrant M.W., Paisner M.S., Meijer S., Witcover J., 2001. *Global Food Projections to 2020. Emerging Trends and Alternative Futures,* International Food Policy Research Institute, Library of Congress Cataloging in Publication Data, 206 p.

Ruhm C.J, 2007. *Current and Future Prevalence of Obesity and Severe Obesity in the United States.* Forum for Health Economics & Policy, 10(2) : 1-26.

Salanave B., Peneau S., Rolland-Cachera M.F., Hercberg S., Castetbon K., 2008, Stabilization of Overweight Prevalence in French Children between 2000 and 2007. *International Journal of Paediatrics Obesity*, 4(2) : 66-72.

Sebillote M. (Dir.), 2001. *Les protéines végétales et animales : enjeux de société et défis pour l'agriculture et la recherche*, Institut national de la recherche agronomique, Paris, 195 p.

Smeets E.M.W., Faaij A.P.C., Lewandowski I.M., Turkenburg W.C., 2007. A Bottom-up Assessment and Review of Global Bioenergy Potentials to 2050. *Progress in Energy and Combustion Science*, 33 : 56-106.

Smil V., 2000. *Feeding the World: A Challenge for the Twenty-first Century*, MIT Press, Cambridge, MA ,USA, 362 p.

Steeg J.A. van de, Herrero M., Kinyangi J., Thornton P.K., Rao K.P.C., Stern R., Cooper P., 2009. *The Influence of Climate Variability and Climate Change on the Agricultural Sector in East and Central Africa. Sensitizing the ASARECA Strategic Plan to Climate Change*. Research Report 22, ILRI (International Livestock Research Institute), Nairobi, Kenya. ICRISAT (International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropics), Nairobi, Kenya, and ASARECA (Association for Strengthening Agricultural Research in Eastern and Central Africa), Entebbe, Uganda.

Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., Haan C.d., 2006. *Livestock's Long Shadow, Environmental Issues and Options,* Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, 390 p.

Swinburn B., Egger G., 2002. Preventive Strategies Against Weight Gain and Obesity. *Obesity Reviews*, 3(4) : 289-301

Taithe A., 2007. *L'eau, facteur d'instabilité en Chine. Perspectives pour 2015 et 2030,* Fondation pour la Recherche Stratégique, Recherches et documents, 53 p.

Thornton P.K., Jones P.G., Owiyo T., Kruska R.L., Herrero M., Kristjanson P., Notenbaert A., Bekele N., Omolo A., with contributions from Orindi V., Otiende B., Ochieng A., UNDP, 2005. *Human Development Report 2005*, International Cooperation at a Crossroads : Aid, Trade and Security in an Unequal World, United Nations Development Programme, 372 p.

UNEP, 2007. *Global Environment Outlook 4 (*GEO-4). Environment for Development, United Nations Environment Programme, 540 p.

USEN (Unité de surveillance et d'épidémiologie nutritionnelle), 2007. Étude nationale nutrition santé (ENNS, 2006). Situation nutritionnelle en France en 2006 selon les indicateurs d'objectif et les repères du Programme national nutrition santé (PNNS). Institut de veille sanitaire, Université de Paris XIII, Conservatoire national des arts et métiers, 74 p.

Braun J. von, Rosegrant M.W., Pandya-Lorch R., Cohen M.J., Cline S.A., Brown M.A., Bos M.S., 2005. *New Risks and Opportunities for Food Security. Scenario Analyses for 2015 and 2050*. International Food Policy Research Institute, 2020 Discussion Paper, 39, 32 p.

Watson R.T., Zakri A.H., 2005. Foreword. *In : Ecosystems and Human Well-being: Scenarios, Volume 2*, S.R. Carpenter, P.L. Pingali, E.M. Bennett, M.B. Zurek, eds., *Millennium Ecosystem Assessment*, Island Press, Washington DC, USA, XIX.

WHO et FAO, 2003. *Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases*, Who Technical Report Series, Report of a Joint World Health Organisation / Food and Agriculture Organisation Expert Consultation, 28 January-1 February 2002, Geneva, 149 p.

Wirsenius S., 2003. Efficiencies and Biomass Appropriation of Food Commodities on Global and Regional Levels. *Agricultural Systems,* 77(3) : 219–255.

World Bank (Banque mondiale), 2008. *Agriculture for Developmen*t, World Development Report 2008, The World Bank, Washington DC, USA, 365 p.

WRAP, 2008. *The Food We Waste,* Food Waste Report, Waste and Resource Action Programme, 236 p.

Zimmer D., Renault D., 2003. *Virtual Water in Food Production and Global Trade*: Review of Methodological Issues and Preliminary Results. *In :* Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, 12-13 December 2002, Delft, The Netherlands, Value of Water Research Report Series 12, Hoekstra A.Y. (eds), UNESCO-IHE, 93-109.

Références à des sites ou à des bases de données

FAO, 2003. *Food Balance Sheet. A Handbook*, Food and Agricultural Organization of the United Nations, http://www.fao.org/docrep/003/X9892E/X9892E00.HTM

FAO, 2006. *Faostat, Internet web portal and database as on 30 June 2006*, Food and Agricultural Organization of the United Nations, http://faostat.fao.org/site/395/default.aspx (30/06/2006)

FAO, IIASA, 2000. *Global Agro-Ecological Zones*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Institute for Applied Systems Analysis, http://www.fao.org/AG/agL/agll/gaez/index.htm (22/06/2007)

FAOSTAT, 2008. *Fisheries and Aquaculture Information and Statistics Service*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/query/en

Kaas, R., 2006. The Seaweed Resources of France. *In: World Seaweed Resources. An Authoritative Reference System 2006,* A.T. Critchley, M. Ohno, D.B. Largo, eds., A Multimedia, Interactive DVD ROM, ETI Bioinformatics, Amsterdam, The Netherlands.

UN, 2006. *World Population Prospects: The 2006 Revision Population Database.*

UN, 2007. *World Urbanization Prospects: The 2007 Revision Population Database*.

USDA, 2006. USDA *National Nutrient Database for Standard Reference*. Release 19, U.S. Department of Agriculture, http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/ (20/08/2007)

Liste des sigles et acronymes

Intitulés des scenarios cités

AM	*Adaptating Mosaic*
BAU	scénario *Business-As-Usual*
CRI	scénario *Water Crisis*
GO	scénario *Global Orchestration*
OS	scénario *Order from Strength*
R2V	scénario Révolution doublement verte
SUS	Scénario *Sustainable Water Use*
TG	Scénario *TechnoGarden*

Dénomination des régions du monde

Ex-URSS	Ex-Union soviétique
AL	Amérique latine
ANMO	Afrique du Nord - Moyen-Orient
ASS	Afrique subsaharienne
ASIE	Asie
OCDE	OCDE-1990

Dénominations et variables adoptées dans la prospective

AEZ	*Agro-Ecological Zones* (GAEZ *Global Agro-Ecological Zones*)
CDU	Comptes Disponibilité-Utilisation de la FAO
LUT	*Land Utilisation Types*
MNTA	Maladies non transmissibles liées à l'alimentation
MONO	produits de monogastriques (catégorie Agribiom de biomasse)
MARI	produits d'eaux marines (catégorie Agribiom de biomasse)
RUMI	produits de ruminants et gros herbivores (catégorie Agribiom de biomasse)
SCA	surface cultivée alimentaire
SCNA	surface cultivée non alimentaire
VEGE	produits végétaux (catégorie Agribiom de biomasse)
AREA	surface (ha)
TRAD	solde Exports-Imports (kcal) en produits alimentaires
ΔSTOC	variation de stocks (kcal) de produits
POPU	effectif de populations humaines (personnes)
FOOD	volume de produits alimentaires (kcal) pour l'alimentation des populations humaines, y compris gaspillages et pertes durant et après la mise à disposition aux ménages et collectivités. Produits alimentaires utilisés pour l'alimentation des êtres humains, après transformation ou non (blé, maïs, pain… huiles… fruits et légumes… lait, viandes, poissons…)

FEED volume de produits alimentaires (kcal) utilisé pour l'alimentation des animaux. Produits alimentaires utilisés pour l'alimentation des animaux, après transformation ou non (maïs, tourteaux d'oléagineux comestibles...)

SEED volume de produits alimentaires (kcal) utilisé pour la reproduction. Produits alimentaires utilisés pour l'alimentation des animaux, après transformation ou non (maïs, tourteaux d'oléagineux comestibles...)

VANA volume de produits alimentaires (kcal) utilisé à des fins non alimentaires : lubrifiants, énergie, cosmétique, biomatériaux...

WAST volume de pertes de produits alimentaires (kcal) entre le disponible (Production +/-Exports-Imports +/- Stocks) et la mise à disposition effective à tel ou tel usage

Unités

g	gramme
G	giga, milliard
Gkcal	giga kilocalories, ou milliard de kilocalories (kcal)
ha	hectare
hab.	Habitant
j	jour
k	kilo, millier
kcal	kilocalories
kg	kilogramme
M	méga, million

Sigles

CFE	Conseil français de l'énergie, France
CGIAR	Consultative group on International Agricultural Research
CIHEAM	Centre international des hautes études agronomiques méditerranéennes, France
CIMMYT	Centre international d'amélioration du maïs et du blé, Mexique
CIRAD	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France
CIRED	Centre international de recherche sur l'environnement et le développement, France
CNAM	Conservatoire national des arts et métiers, France
DGER	Direction générale de l'Enseignement et de la recherche (ministère français de l'Alimentation, de l'agriculture et de la pêche), France
FAO	Food Agriculture & Alimentation Organisation / Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
FARM	Fondation pour l'agriculture et la ruralité dans le monde, France
GPAFS	Global Partnership for Agriculture and Food Security
IAASTD	International Assessment of Agricultural Science and Technology for Development / Évaluation internationale des connaissances, des sciences et des technologies agricoles pour le développement (EICSTAD)
IDDRI	Institut du développement durable et des relations internationales, France

IFPRI	International Food Policy Research Institute
IFRAI	Initiative française pour la recherche agronomique internationale, France
IFREMER	Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer, France
IIASA	International Institute for Applied System Analysis
IMWI	International Water Management Institute
INRA	Institut national de la recherche agronomique, France
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change / GIEC Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
IRD	Institut de recherche pour le développement, France
MEA	*Millennium Ecosystem Assessment* / Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire
OECD / OCDE	Organisation for Economic Co-operation and Development / Organisation de coopération et de développement économiques
OMC	Organisation mondiale du commerce
ONG	Organisation non gouvernementale
ONU	Organisation des Nations unies
PNUD	Programme des Nations unies pour le développement
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature
USDA	United States Departement of Agriculture, États-Unis
WHO	World Health Organisation / OMS, Organisation mondiale de la santé

Liste des auteurs

Patrick Caron, patrick.caron@cirad.fr, CIRAD, avenue Agropolis, TA 179/04, 34398 Montpellier Cedex 5, France

Jean-Marc Chaumet, Jean-Marc.Chaumet@inst-elevage.asso.fr, Institut de l'Elevage, 147 Rue de Bercy, 75595 Paris Cedex 12 France

Francis Delpeuch, francis.delpeuch@ird.fr, IRD, BP 8967, 15 rue Abou Derr, 10000 Rabat Agdal, Maroc

Bruno Dorin, bruno.dorin@cirad.fr, CIRAD - Umr CIRED, TA C56/15, 73 rue J.F. Breton, 34398 Montpellier Cedex 5, France

Gérard Ghersi, gerard.ghersi@univ-montp3.fr, France

Hervé Guyomard, herve.Guyomard@rennes.inra.fr, INRA, 147 rue de l'Université, 75338 Paris Cedex 7, France

Marion Guillou, marion.guillou@paris.inra.fr, INRA, 147 rue de l'Université, 75338 Paris Cedex 7, France

Bernard Hubert, bernard.hubert@avignon.inra.fr, Agropolis international, 34394 Montpellier Cedex 5, France

Tristan Le Cotty, lecotty@cirad.fr, CIRAD - Umr CIRED, TA C56/15, 73 rue J.F. Breton, 34398 Montpellier Cedex 5, France

Gérard Matheron, CIRAD, 42 rue Scheffer, 75116 Paris, France

Sandrine Paillard, sandrine.paillard@paris.inra.fr, INRA, 147 rue de l'Université, 75338 Paris Cedex 7, France

Michel Petit, petit@iamm.fr, IAMM, 3191 route de Mende, 34093 Montpellier Cedex 5, France

Jean-Louis Rastoin, rastoin@supagro.inra.fr, SupAgro Montpellier, UMR 1110 Moisa, 2 place Pierre-Viala, 34060 Montpellier Cedex 1, France

Tévécia Ronzon, tevecia.ronzon@paris.inra.fr, INRA, 147 rue de l'Université, 75338 Paris Cedex 7, France

Sébastien Treyer, sebastien.treyer@iddri.org, IDDRI, 27 rue Saint Guillaume, 75337 Paris Cedex 7, France

Maquette et édition : Éditions Quæ

Infographie : Desk

Mise en pages : Alter ego communication

Impression : Louis Jean

Comment nourrir près de 9 milliards d'individus à l'horizon 2050 tout en préservant les écosystèmes ? Le XXIe siècle doit relever un triple défi pour l'agriculture et l'alimentation : la sécurité alimentaire, en quantité et en qualité, la protection de l'environnement et des ressources naturelles, et la raréfaction des énergies fossiles. Dans cette perspective, en 2006, l'Inra et le Cirad ont lancé l'initiative d'une plateforme de réflexion prospective sur les enjeux relatifs aux systèmes alimentaires et agricoles mondiaux à l'horizon 2050 et, *in fine,* sur les questions prioritaires auxquelles la recherche agronomique sera confrontée demain. Cet ouvrage présente de façon synthétique et illustrée les principaux enseignements de cette prospective : les repères statistiques pour la période 1961 à 2003, puis l'outil de simulation Agribiom permettant d'établir des bilans entre les ressources et les emplois de biomasses alimentaires. Ensuite, sont considérés deux scénarios à l'horizon 2050 : Agrimonde GO est un scénario tendanciel qui mise sur la croissance économique pour nourrir le monde dans un contexte où la préservation de l'environnement n'est pas une priorité ; Agrimonde 1, au contraire, est un scénario qui a pour but de nourrir la planète tout en préservant les écosystèmes. Fondé sur des hypothèses en rupture pour l'avenir, ce scénario suppose l'émergence de de systèmes durables en 2050. L'objectif est de réfléchir au sens et à la plausibilité d'un tel développement et aux dilemmes et principaux défis qu'il implique.

Cet ouvrage de synthèse rigoureux intéressera les décideurs, les professionnels des secteurs de l'agriculture, de l'environnement et de l'alimentation, ainsi que tous les acteurs de la recherche.

Sandrine Paillard est économiste et étudie les relations entre les avancées scientifiques et techniques et les dynamiques économiques et sociales. Elle anime à l'Inra des travaux de prospective dont l'objectif est de construire des scénarios sur l'avenir de l'agriculture et de ses relations à l'environnement et au développement.

Sébastien Treyer est spécialiste des prospectives pour les politiques d'environnement Il est directeur des programmes de l'Institut du développement durable et des relations internationales, un « *think tank* » qui vise à faciliter la coordination internationale pour les enjeux environnementaux mondiaux.

Bruno Dorin est docteur en sciences économiques et ingénieur en agriculture. Après huit ans en Inde, pour ses travaux doctoraux, puis comme directeur et chercheur du Centre de Sciences humaines, il a rejoint le Cirad en 2002, et a développé le module Agribiom en 2006.

42 €

ISBN : 978-2-7592-0888-3

9 782759 208883

Éditions Cemagref, Cirad, Ifremer, Inra
www.quae.com

ISSN : 2105-8830
Réf. : 02223