

Agrimonde. Agricultures et alimentations du monde en 2050 : scénarios et défis pour un développement durable

Bruno Dorin, Sandrine Paillard

► **To cite this version:**

Bruno Dorin, Sandrine Paillard. Agrimonde. Agricultures et alimentations du monde en 2050 : scénarios et défis pour un développement durable. [Rapport de recherche] INRA; CIRAD. 2009, 32 p. hal-02938677

HAL Id: hal-02938677

<https://hal-enpc.archives-ouvertes.fr/hal-02938677>

Submitted on 15 Sep 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Agrimonde®

Agricultures et alimentations du monde en 2050 : scénarios et défis pour un développement durable

2^e édition décembre 2009

Note de synthèse



Agrimonde

Agricultures et alimentations du monde en 2050 : Scénarios et défis pour un développement durable

Sommaire

Introduction

Une plateforme pour animer la réflexion prospective sur les agricultures et alimentations du monde

Un outil fondé sur la complémentarité d'analyses quantitatives et qualitatives

Agrimonde, complémentaire d'autres approches prospectives des équilibres alimentaires

Le module quantitatif Agribiom

Agrimonde 1 et Agrimonde GO : exploration prospective

Choix et principes de construction des deux scénarios

Les scénarios quantitatifs

Des scénarios quantitatifs aux scénarios complets

Regards prospectifs sur les comportements alimentaires, les options technologiques et les échanges

Les comportements alimentaires en question : les ruptures envisagées sont-elles plausibles ?

Options pour l'intensification écologique

Echanges et agriculture durable : quelles régulations ?

Quelques pistes d'approfondissement

Contacts :

Bruno Dorin (en particulier pour Agribiom),
CIRAD - UMR CIRED
TA C-56/15, 73 rue Jean-François Breton,
34398 Montpellier Cédex 5
courriel : bruno.dorin@cirad.fr
tél. : +33 4 67 61 75 82
fax : +33 4 67 61 44 15

Sandrine Paillard,
INRA - Unité Prospective
147 rue de l'Université,
75338 Paris Cédex 07
courriel : sandrine.paillard@paris.inra.fr
tél. : +33 1 42 75 95 37
fax : +33 1 42 75 95 32

Agrimonde

Agricultures et alimentations du monde en 2050 : Scénarios et défis pour un développement durable

Le domaine d'étude relatif à la production agricole et à l'alimentation mondiales dans ses interactions avec l'objectif de développement durable fait l'objet de très nombreux travaux et débats. Il est désormais l'un de ceux où se révèlent et s'affrontent les positions, voire les idéologies, dans l'arène géopolitique ; il touche en effet aux questions de régulations internationales pour la gestion des biens publics mondiaux et le commerce international ; il touche à la conception des relations science – société et renvoie finalement aux conceptions du progrès, voire à celles du devenir de la planète.

On assiste ainsi depuis quelques années à l'enrichissement du domaine par convergence de travaux d'origines et de traditions variées : modélisations économétriques dédiées à l'analyse des politiques agricoles, 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 sur l'énergie ou encore ceux issus de processus internationaux d'expertise scientifique sur les écosystèmes ou la diversité biologique. Il y a donc profusion d'informations, de données, de résultats et, corrélativement, grande illisibilité d'ensemble. La prise de conscience des risques globaux a conduit à multiplier les analyses et les enceintes internationales d'expression, mais cela ne clarifie pas nécessairement les enjeux et les options.

Pour promouvoir réflexivité et échanges approfondis à partir des travaux existants, il convient à la fois de les décrypter et les interpréter ou les réinterpréter, d'en faire la critique en les mettant en perspective dans leurs attendus, leurs présupposés et leurs implications. Il convient aussi de les enrichir, de les élargir et de contribuer à leur qualité. L'enjeu est de taille puisque ces travaux et les débats qu'ils suscitent sont le creuset où se construisent et s'établissent en normes internationales, un certain nombre de concepts, de raisonnements et de résultats ; l'enjeu est bien la construction du discours 'scientifique', 'raisonnable' et 'communément accepté par les experts', celui qui façonne l'action des organisations internationales et de la plupart des gouvernements. Ce discours influe alors sur l'agenda et les débats concernant les négociations internationales en matière d'agriculture, de commerce international ou d'aide au développement, sur l'action des organisations multilatérales, ainsi que sur l'orientation de la recherche agronomique au sens large.

A côté de la nécessaire poursuite des travaux de recherche, il s'avère nécessaire de construire un outil permettant réflexivité et échanges approfondis. C'est l'ambition de l'opération de prospective Agrimonde, qui devrait ainsi occuper une place spécifique par rapport aux exercices internationaux d'évaluation et de prospective, et tout particulièrement les suites qui pourraient être données à l'IAASTD¹ et les discussions en cours sur la réforme du système international de recherche agronomique. Ainsi, au vu des implications de ces questions sur l'orientation de la recherche et sur les politiques publiques, les présidences de l'INRA et du CIRAD nous ont demandé de « *produire des scénarios d'évolutions des productions, des consommations et des échanges agricoles mondiaux, ainsi que des connaissances scientifiques et techniques propres à l'agriculture. Il s'agira ensuite d'en tirer des leçons sur les rôles possibles pour la recherche, les politiques publiques et les régulations internationales.* »

L'opération de prospective Agrimonde ainsi définie a été confiée à une équipe projet INRA-CIRAD, coordonnée par Sébastien Treyer, sous la responsabilité de l'IFRAI², avec les objectifs généraux suivants : 1) concevoir les modalités d'une réflexion stratégique fondée sur une approche prospective, afin d'éclairer les orientations de la recherche dans le domaine agronomie – alimentation au sens large ; 2) initier le processus de débats, d'interactions et d'appropriation sur ces thèmes à l'échelle nationale ; 3) favoriser la participation des experts français dans les débats internationaux sur le sujet.

A cette fin, l'opération a cherché à aboutir à la constitution d'une intelligence prospective permanente grâce à la constitution d'une plateforme de construction, d'analyse et de mise en débat de scénarios, qui soit fondamentalement conçue comme dispositif d'interactions avec les experts, c'est-à-dire chercheurs, décideurs et plus généralement 'parties prenantes' et acteurs du système.

¹ *International Assessment of Agricultural Knowledge, Science & Technology for Development.*

² Initiative Française pour la Recherche Agronomique Internationale (Groupement d'intérêt public constitué en 2007 par l'INRA et le CIRAD).

C'est ainsi que l'opération Agrimonde se décline en trois produits, qui structurent la synthèse proposée dans le présent document :

Partie I. La plateforme Agrimonde : conception d'une plateforme de prospective et de réflexion collective sur des scénarios des agricultures et alimentations du monde permettant d'aborder la question des rôles possibles pour la recherche, les politiques publiques et les régulations internationales.

Partie II. La construction et l'analyse stratégique de deux scénarios : mise en œuvre de la plateforme pour l'examen de deux scénarios : reconstruction d'un scénario existant, *Global Orchestration* du *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA), permettant d'en exhiber les impasses éventuelles et création d'un nouveau scénario, Agrimonde 1, avec lequel il est comparé.

Partie III. La mise en débat : mise en débat des analyses et réflexions relatives à ces scénarios, conduisant éventuellement à des recommandations et des perspectives de mise en œuvre complémentaire de la plateforme. Cette partie n'est qu'ébauchée à ce stade de la réflexion. Plusieurs présentations publiques de la prospective ont permis d'en débattre les résultats (notamment le 25 février 2009 au Salon International de l'Agriculture à Paris et le 9 octobre 2009 à Montpellier lors d'un colloque rassemblant plus de 200 personnes).

Le rapport, dont la synthèse est proposée ici, présente les résultats de la première phase du projet Agrimonde (2006-2008), qui a reposé sur un groupe de travail, composé de chercheurs et d'experts de l'INRA, du CIRAD et d'autres organismes de recherche et *think tanks*, animé par l'équipe projet permanente. Un comité d'experts, constitué d'une vingtaine de représentants des principales institutions françaises parties prenantes de la réflexion et de la décision relatives aux systèmes alimentaires, a eu un rôle d'avis et de conseil.

I. Une plateforme pour animer la réflexion prospective sur les agricultures et alimentations du monde

Cette première partie est consacrée à la méthodologie développée dans la phase 2006-2008 du projet Agrimonde. Elle s'attache d'abord à exposer la méthode d'animation de la réflexion prospective et son positionnement par rapport à d'autres approches des équilibres alimentaires à long terme. Le module quantitatif Agribiom, central dans la plateforme Agrimonde, est ensuite présenté.

I.1 Un outil fondé sur la complémentarité d'analyses quantitatives et qualitatives

La plateforme Agrimonde est conçue pour animer la réflexion collective autour des enjeux relatifs au système agricole et alimentaire mondial, qui peuvent se résumer au défi central 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 : agro-énergies, biodiversité, stockage de carbone, régulation climatique... Les variables à considérer, quand on analyse ces questions, sont extrêmement diverses et nombreuses : 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 au niveau 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.

Etant donné le nombre et la diversité des variables et l'importance de l'articulation des échelles régionale et mondiale, la méthode classique de construction de scénarios s'avère peu appropriée³. En effet, il n'est guère envisageable de combiner les hypothèses sur l'ensemble des variables motrices pour le futur du système étudié et ce aux échelles régionale et mondiale, ce qui rendrait l'exercice à la fois peu praticable et peu lisible. La méthode des scénarios a donc été adaptée en construisant un

³ La méthode classique des scénarios repose 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. Pour des précisions, voir par exemple De Jouvenel, 1999, « La démarche prospective : un bref guide méthodologique », *Futuribles*, pp. 47-48.

outil reposant essentiellement sur la complémentarité d'analyses quantitatives et qualitatives. La quantification repose de façon déterminante sur un module quantitatif, dénommé Agribiom, présenté ci-dessous. La formulation de jeux d'hypothèses quantitatives, au niveau régional, sur un nombre restreint de variables, permet de réduire la complexité tout en fournissant un point d'entrée à une réflexion qualitative poussée envisageant l'ensemble des dimensions du système.

La construction de scénarios procède en trois grandes étapes :

- Choisir les scénarios et leurs principes de construction,
- Construire les scénarios quantitatifs,
- Construire les scénarios complets, en complétant les scénarios quantitatifs par des hypothèses d'évolution qualitatives.

Le groupe de travail commence par choisir les scénarios à construire et leurs principes de construction, c'est-à-dire les traits saillants des scénarios (souhaitons-nous construire un scénario qui serait tendanciel du point de vue des consommations alimentaires, ou bien au contraire en rupture ? Souhaitons-nous construire un scénario caractérisé par une crise énergétique ?...). L'horizon temporel et le découpage géographique en régions sont définis en fonction des objectifs de l'exploration prospective.

Sur la base des principes de scénarios, le groupe de travail procède ensuite à la construction des hypothèses quantitatives en donnant une valeur à chacune des variables du module Agribiom à l'horizon temporel retenu et pour chacune des zones régionales. Ces variables permettent de calculer pour chaque zone, et pour le monde, les ressources agricoles et leurs emplois. Pour cette construction, le groupe de travail se fonde non seulement sur des analyses rétrospectives et donc sur les tendances passées, puisque les variables à quantifier sont renseignées pour les années passées dans le module Agribiom, mais aussi sur l'exploration des possibilités de rupture des tendances à l'œuvre. A cette fin, le groupe de travail se fonde sur l'expertise de ses membres, analyse et discute des travaux académiques ou prospectifs permettant d'envisager des futurs contrastés.

Les hypothèses sur l'emploi des biomasses au niveau régional 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, des hypothèses sont faites, au niveau régional, essentiellement sur l'occupation des terres (surfaces en cultures, pâtures, forêts...), la productivité en calories végétales des espaces cultivés, et la conversion des calories végétales en calories animales.

Une fois les hypothèses quantitatives formulées, le module Agribiom permet de tester si les bilans ressources – emplois sont excédentaires ou déficitaires dans chaque région et au niveau mondial, ceci en incluant les quantités de biomasses nécessaires pour produire les productions alimentaires d'origine animale.

Les ensembles formés par les hypothèses quantitatives et les bilans ressources – emplois correspondant forment les scénarios quantitatifs. Ceux-ci sont discutés par le groupe de travail pour les compléter par des hypothèses qualitatives et aboutir à des scénarios complets. A cette fin, les scénarios quantitatifs sont analysés pour chaque région et au niveau mondial selon trois types de questionnement :

1. 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 ?
2. Que nous apprend la confrontation des différents scénarios ? Sont-ils bien contrastés ? Quelles hypothèses qualitatives faut-il faire pour qu'ils racontent des histoires bien distinctes ?
3. 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 ?

I.2 Agrimonde, complémentaire d'autres approches prospectives des équilibres alimentaires

En se fixant comme objectif d'explorer l'avenir des systèmes agricoles et alimentaires mondiaux, la plateforme Agrimonde développe des choix méthodologiques complémentaires d'approches existantes, que l'on peut regrouper en deux grands ensembles :

- des exercices d'anticipation centrés sur les possibilités d'accroissement de la production agricole mondiale,
- des exercices de scénarios mondiaux sur les ressources naturelles et la mondialisation s'appuyant sur des modélisations intégrées.

Le premier ensemble de travaux, qui comparent le potentiel de production de biomasse aux besoins alimentaires futurs, regroupe à la fois des approches souvent qualifiées de néo-malthusiennes⁴, des projections tendanciennes à 15-20 ans⁵, réalisées notamment par la FAO⁶, et des exercices visant à mettre en lumière un potentiel maximal de production de biomasse en agriculture qu'il faudrait atteindre en levant des obstacles d'ordre technique ou socio-économique. Parmi ces derniers, deux exercices ont été déterminants pour la conception des premiers scénarios d'Agrimonde : l'exercice de P. Collomb et celui de Michel Griffon⁷. Dans les deux cas, l'accent est mis non seulement sur la couverture mondiale des besoins par les ressources, mais aussi sur la capacité régionale à couvrir les besoins régionaux.

Agrimonde s'inscrit pour partie dans la lignée de ce premier ensemble d'approches, notamment du point de vue des méthodes de représentation des systèmes agricoles et alimentaires ; il se fonde sur des données agrégées par grandes régions du monde, son apport consistant à tirer des enseignements d'une évaluation des équilibres régionaux et mondial entre emplois et ressources. A cet égard, le module quantitatif Agribiom présente divers intérêts, notamment :

- la prise en compte de la totalité des biomasses alimentaires,
- l'utilisation d'unités (calories, protéines...) permettant des agrégations, modélisations et simulations inhabituelles des productions, échanges et usages de biomasses alimentaires,
- un traitement novateur et robuste de la conversion de biomasses végétales en biomasses alimentaires animales.

Cependant, comme les autres approches de cet ordre, les évaluations quantitatives d'Agribiom ne permettent pas d'accéder à la complexité territoriale des systèmes de production agricole même si le module Agribiom et les scénarios Agrimonde pourraient donner lieu à des analyses plus ciblées sur un pays particulier. Les scénarios quantitatifs construits dans Agrimonde n'ont pas l'ambition d'embrasser l'ensemble des enjeux en matière d'agriculture et d'alimentation, qui ne peuvent pas être saisis au travers du seul potentiel biophysique global de production de biomasse. L'évaluation du potentiel d'augmentation de la production vise bien dans ce cadre à évaluer également la capacité des systèmes agricoles à participer à l'effort de réduction de la pauvreté ; la construction de scénarios complets, combinant hypothèses quantitatives et qualitatives, est indispensable à la construction de visions cohérentes et pertinentes du futur des agricultures et des alimentations.

Au travers du second ensemble de travaux, une famille de scénarios mondiaux de référence est en train d'émerger (scénarios du GIEC⁸ et du MEA notamment), construits les uns par rapport aux autres et avec les mêmes outils de modélisation intégrée. Ces scénarios présentent la qualité principale de permettre d'intégrer et d'articuler des projections de scénarios socio-économiques d'émissions de gaz à effet de serre et leur traduction en impacts sur les changements climatiques et par suite sur les ressources et les activités envisagées, notamment l'agriculture.

Avec ces scénarios de référence, on cherche à explorer essentiellement quatre images contrastées des états du monde en 2050, qui se différencient selon deux axes : 1) la configuration géopolitique (mondialisation versus régionalisation), 2) la gestion des enjeux environnementaux (préventive versus curative). Ces quatre grandes esquisses du monde sont ensuite traduites par les modèles intégrés dans le cadre d'une approche présentée sous la dénomination de « *story and simulation* », qui consiste à allier l'élaboration de scénarios qualitatifs à l'amont et modélisations intégrées⁹.

L'architecture très complexe de modélisation intégrée, rassemblant un nombre important de modèles, conduit généralement à s'en tenir aux quatre familles de référence, censées être représentatives de la multiplicité des futurs possibles pour la planète. Or, dans le cadre de l'IAASTD, il est apparu que ces familles de référence ne fournissent pas un cadre satisfaisant de réflexion sur l'avenir des systèmes agricoles et alimentaires.

La plateforme Agrimonde constitue donc une approche complémentaire des exercices de modélisations prospectives intégrées. Elle vise à explorer plus rapidement la cohérence en ordres de

⁴ Depuis le rapport Meadows au Club de Rome en 1972 (Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J. et Behrens III W. W., 1972, *Halte à la croissance ?*, rapport au Club de Rome, Fayard, Paris.), jusqu'à des travaux plus récents de Lester Brown, (Brown L., 1995, *Who Will Feed China?: Wake-Up Call for a Small Planet*, W. W. Norton & Company).

⁵ FAO, 2002, *Agriculture mondiale : horizon 2015/2030* – Rapport Abrégé.

⁶ *Food and Agriculture Organisation of the United Nations*.

⁷ Collomb P., 1999, *Une voie étroite pour la sécurité alimentaire d'ici à 2050*, Economica, Paris ; Griffon M., 2006, *Nourrir la planète – Pour une révolution doublement verte*, Odile Jacob.

⁸ Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat.

⁹ Agence européenne de l'environnement, 2001, « Scenarios as Tools for International Environmental Assessments », *Environmental issue Report*, 24.

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. En ce sens, Agrimonde vise à fournir une plus grande capacité de génération de scénarios cohérents, autres que les scénarios de référence, et qui pourront ensuite, dans une deuxième phase, faire l'objet d'autres modélisations notamment en termes économiques.

I.3 Le module quantitatif Agribiom

Agribiom est un module quantitatif consacré à l'analyse des productions, échanges et usages mondiaux de biomasses. Le bilan (passé ou futur) en termes physiques entre emplois et ressources de biomasses alimentaires constitue le cœur et le moteur d'Agribiom. De tels équilibres peuvent être reconstitués (des années 1960 à nos jours) ou simulés par Agribiom 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 permettant de développer des analyses et modélisations nouvelles, notamment dans des domaines et à des échelles où l'information statistique et la modélisation souffrent d'insuffisances (par exemple, conversion des biomasses végétales en biomasses animales aux échelles nationales).

A cette fin, Agribiom est structuré en quatre chantiers, la première phase du projet Agrimonde (2006-2008) s'étant concentrée sur les trois premiers :

- (1) Réunir, vérifier et relier, sur plusieurs décennies passées, des millions de données relatives aux productions, échanges et usages nationaux de produits agricoles et alimentaires ;
- (2) Elaborer, avec ces données de base, de nouvelles séries de données permettant des observations et 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 emplois – ressources de biomasses alimentaires ;
- (4) Interagir avec d'autres travaux quantitatifs, notamment des modèles d'équilibre général calculable et des modèles biophysiques.

Données rétrospectives

Grâce à la compilation et au traitement d'un grand nombre de données provenant de différentes bases de données (pour la plupart issues de la FAO, avec au centre ses CDU : Comptes Disponibilités Utilisation)¹⁰, le module Agribiom a permis au groupe de travail Agrimonde d'analyser des séries longues (1961-2003) afin d'en discuter les possibilités de rupture. Ces analyses ont principalement porté sur :

- les populations humaines,
- les usages de produits alimentaires (alimentation humaine, alimentation animale, valorisations agricoles non-alimentaires, semences, pertes) suivant cinq grands « compartiments » de produits : végétaux, animaux terrestres (ruminants et monogastriques), aquatiques (eaux douces et eaux marines),
- l'occupation des sols, suivant cinq catégories de surfaces : cultures (annuelles et pérennes) et plantations¹¹, pâtures, forêts, autres terres émergées et, enfin, les eaux intérieures (lacs, rivières et autres terres immergées),
- les productions et productivités alimentaires, en équivalent calories,
- les soldes régionaux (Exports-Imports) de calories alimentaires.

Sur plus de 250 unités géographiques recensées dans les bases de données FAO au cours de la période étudiée (1961-2003), 149 ont été retenues dans Agribiom après avoir écarté un grand nombre d'îles et micro-Etats très mal ou très irrégulièrement renseignés, et quelques autres zones plus vastes mais présentant les mêmes lacunes statistiques (Afghanistan, Antarctique, Papouasie-Nouvelle-Guinée, Irak, Sahara Occidental, Somalie...). La représentativité du monde par ces 149 entités dépasse 98% dans de nombreux cas¹².

¹⁰ Cf. le rapport pour la description détaillée des séries mobilisées et l'exposé des retraitements.

¹¹ Cultures annuelles et plantations sont deux données distinctes dans la série « Terres » (« Land ») de la FAO (fichier « *RessourceSTAT-Land1.xls* »). Elles ont été regroupées dans l'exercice Agrimonde et sont souvent nommées « surfaces cultivées » dans ce document. Elles incluent les surfaces irriguées et les surfaces plantées en agro-carburant.

¹² En 2000 : 98,3% des populations humaines, 98,6% des terres cultivées, 97,3% des surfaces terrestres.

Modèles de productions animales

Agribiom propose également des modèles de productions alimentaires animales sur lesquels s'est appuyé le groupe de travail Agrimonde. La transformation de biomasses végétales (concentrés, fourrages, pâtures, résidus de cultures, résidus alimentaires, etc.) en biomasses alimentaires animales (lait, viandes, œufs...) demeure en effet une dimension déterminante des bilans et analyses. Or les technologies de cette transformation sont très variables d'une région à l'autre du monde, tandis que l'information statistique et la modélisation dans le domaine s'avèrent particulièrement pauvres aux échelles géographiques considérées. Agribiom s'efforce d'améliorer la représentation des transformations régionales de biomasses végétales en biomasses alimentaires animales par des « fonctions de production animale », après avoir montré que la productivité moyenne de produits végétaux tels que les céréales et tourteaux d'oléagineux est effectivement très variable dans l'espace et le temps, en termes de calories ou encore de protéines. Simuler à long terme les productions alimentaires animales avec un coefficient fixe relatif à ces seules quantités de facteur présente donc des limites que l'élaboration de fonctions de production animale s'est attachée à dépasser.

Plusieurs types de fonctions de production alimentaire animale ont été élaborés. Celles choisies pour Agrimonde (cf. encadré 1) permettent de reproduire plutôt fidèlement l'évolution des productions animales régionales durant plus de 40 années passées, limitent les hypothèses à formuler pour les simulations, et demeurent 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).

Encadré 1 : Le choix des fonctions de production animale

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

- linéaires ;
- géographiques et, en l'occurrence, pour chacune des 6 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/diminution des teneurs en protéines de l'alimentation des animaux -hors fourrages- par exemple) ;
- organisées en un système de deux équations (productions de protéines de ruminants d'une part, de monogastriques d'autre part) comportant trois facteurs explicatifs : les protéines de l'alimentation des animaux (hors fourrages), les hectares de pâture et le niveau de production du « substitut » (production protéique de monogastriques ou de ruminants selon les cas).

Les bilans ressources – emplois de biomasse alimentaire

Après élaboration des différentes hypothèses qui constituent les scénarios quantitatifs Agrimonde 1 et Agrimonde GO (voir partie II), le module Agribiom est en dernier lieu mobilisé pour le calcul des bilans ressources – emplois régionaux. Ces bilans présentent finalement trois particularités :

- ils sont élaborés pour la quasi-totalité des « biomasses alimentaires »¹³ réparties en cinq « compartiments » liés à l'origine des produits et à l'usage des sols ;
- ils utilisent la calorie alimentaire (kcal) comme unité commune de volume¹⁴, pour les consommations comme pour les productions ou échanges de biomasses, ceci avec des avantages¹⁵ et des limites¹⁶ ;
- ils simulent les ressources et emplois annuels de biomasses alimentaires selon la structure d'équation présentée ci-après (cf. rapport pour plus de détails).

¹³ Par « biomasse alimentaire », nous entendons toute matière organique pouvant, sous sa forme primaire, servir d'aliment à l'être humain. Cette définition intègre donc un très grand nombre de produits agricoles, mais pas tous puisque sont ici exclus des produits comme le caoutchouc, les fibres végétales, la soie, la laine, le cuir, les huiles essentielles, les fourrages, etc. Les bilans alimentaires n'intègrent également pas les animaux vifs, une raison étant que seuls leurs produits (lait, viande...) sont objets de CDU.

¹⁴ Par volume, nous entendons une quantité physique, par opposition à « valeur ».

¹⁵ 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.

¹⁶ Des limites sont à noter notamment aux plans économique (la calorie d'une graine de maïs ne vaut pas celle d'une graine de café...) et nutritionnel (cf. Deaton A., Dreze J., 2009, « Food and Nutrition In India: Facts and Interpretations », *Economic & Political Weekly*, XLIV(7), pp. 42-65 et Dorin B., 1999, « Food Policy and Nutritional Security. The Unequal Access to Lipids in India », *Economic & Political Weekly*, XXXIV(26), pp. 1709-17.

$$\begin{aligned}
 & (\text{Superficie} \times \text{Rendement}) - \text{Solde exports-imports} \pm \text{Variation de stocks} \\
 & = \\
 & (\text{Population} \times \text{Consommation calorique/habitant}) + \text{Alimentation animale} \\
 & \quad + \text{Semences} + \text{Vana}^{17} + \text{Pertes}
 \end{aligned}$$

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. Le second terme de l'équation correspond quant à lui aux usages régionaux des biomasses. Il représente les consommations alimentaires humaines estimées comme le produit des populations humaines plus ou moins nombreuses (personnes) consommant des quantités plus ou moins importantes de biomasses par personne (kcal/habitant).

Interface et simulations interactives

Les hypothèses quantitatives retenues ne permettent pas forcément d'atteindre l'équilibre ressources – emplois mondial recherché du premier coup. Le cas échéant, l'équilibre est trouvé après modification à la hausse ou à la baisse des hypothèses formulées, par un tâtonnement suivant certaines règles. Il peut également être intéressant, pour la réflexion, de ne pas équilibrer automatiquement les bilans afin d'exhiber des excédents et des déficits, et de débattre collectivement des différentes voies ou conditions pour combler ces déficits ou pour valoriser les excédents. On peut aussi débattre des différents leviers permettant à la production de répondre 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 est dans l'apprentissage du rôle de chaque variable, modèle et règle de décision utilisés dans l'établissement d'un équilibre physique, et non seulement dans l'image finale de l'équilibre ressources – emplois proposé. C'est en cela que l'interface Agribiom est fondamentalement interactive.

II. Agrimonde 1 et Agrimonde GO : exploration prospective

En partant de l'analyse des scénarios du MEA, le groupe de travail a d'abord choisi les scénarios à construire et leurs principes de construction. Il a ensuite procédé à la quantification, région par région, des emplois et ressources alimentaires des scénarios Agrimonde afin de pouvoir renseigner les états régionaux des équilibres ressources – emplois des scénarios. Enfin, l'analyse de la cohérence des scénarios, leur confrontation et l'identification des leviers d'action les caractérisant ont permis de préciser les dimensions qualitatives des scénarios, laissées ouvertes par la quantification, pour aboutir à des récits de scénarios complets pour 2050.

II.1 Choix et principes de construction des deux scénarios

Le groupe de travail a choisi d'analyser sous l'angle des systèmes agricoles et alimentaires les scénarios du MEA, en particulier *Global Orchestration*, et de construire un seul nouveau scénario, en rupture par rapport aux scénarios du MEA (cf. figure 1).

Les scénarios du MEA, qui ont été construits pour questionner le futur des écosystèmes, font référence dans les débats internationaux. Leurs principes de construction ne sont pas forcément les plus pertinents pour débattre du futur des systèmes agricoles et alimentaires mais, justement, confronter les deux types de questionnement, l'un relatif aux écosystèmes et l'autre relatif aux activités humaines qui ont le plus d'impact sur les écosystèmes, est intéressant. Le groupe de travail a donc souhaité conduire une analyse poussée des scénarios du MEA, en les traduisant, grâce à la plateforme Agrimonde, en scénarios agricoles et alimentaires.

Les scénarios du MEA étant exploratoires, c'est-à-dire explorant les conséquences d'inflexion de tendances à partir de la situation présente, certains experts, y compris parmi ceux impliqués dans le MEA, regrettaient l'absence d'un scénario souhaitable en matière de devenir des écosystèmes. En outre, Michel Griffon proposait, dans *Nourrir la planète*, un scénario décrivant des agricultures recherchant toutes les caractéristiques de la durabilité, explorant le potentiel et les conditions d'une

¹⁷ Valorisation agricole non alimentaire.

« révolution doublement verte »¹⁸. Celle-ci est caractérisée par des 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 équipement et en intrants. Le groupe de travail a donc voulu construire un scénario souhaitable, qu'il a dénommé Agrimonde 1, en s'inspirant de façon libre du scénario de Michel Griffon.

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. En complément, le groupe de travail a choisi de '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 qu'il sous-tend. *Global Orchestration* est en effet le scénario du MEA où la réduction de la pauvreté et de la malnutrition est la plus forte. Celle-ci repose à la fois sur la libéralisation des échanges et des progrès techniques majeurs en matière de rendements agricoles. La priorité donnée au développement économique se solde néanmoins dans ce scénario par une gestion uniquement réactive des écosystèmes et des problèmes environnementaux. Ce scénario est ici appelé « Agrimonde GO », non seulement parce qu'il est reconstruit sur la base de la méthode de quantification adoptée dans Agrimonde mais aussi car les hypothèses de population retenues pour ce scénario ne sont pas celles envisagées dans le MEA. En effet, pour réellement comparer le scénario Agrimonde 1 à un autre scénario, il a semblé important au groupe de travail de faire les mêmes hypothèses de 'pression démographique' dans les deux scénarios.

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, Afrique subsaharienne, Amérique latine, Asie, Ex-URSS et OCDE-1990.

Agrimonde 1 vise à explorer le sens et les conditions d'existence d'un scénario de développement d'un système agricole et alimentaire durable. En cela, il s'agit bien de ce que la prospective appelle un scénario normatif, mais les hypothèses qui forment ce scénario n'ont pas pour autant le statut de norme et encore moins de prescription. Il suppose qu'en 2050, le monde aura su mettre en œuvre un système agricole et alimentaire durable, pour mieux comprendre le sens d'un tel développement, les dilemmes et les principaux défis qu'un tel scénario porte, au travers des inflexions et ruptures qu'il suppose.

Le monde en 2050 décrit dans Agrimonde 1 repose tout d'abord sur des conditions d'alimentation durables, permettant la réduction des inégalités face à l'alimentation et la santé, au travers d'une réduction drastique de la sous-alimentation mais aussi des excès d'apports nutritionnels. Le monde en 2050 aura par ailleurs mis en œuvre un ensemble d'actions d'intensification des systèmes de production et d'augmentation des productions dans la plupart des régions. Ces actions auront répondu à un triple objectif : faire face à la croissance de la demande, permettre le développement des revenus tirés de l'agriculture dans les espaces ruraux des pays du Sud et enfin développer des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement. Il s'est alors agi pour le groupe de travail d'explorer la diversité des trajectoires possibles d'intensification écologique et d'en questionner la nature, les atouts et les limites en fonction des contextes régionaux et des objectifs poursuivis.

Ainsi, ces deux scénarios relèvent de modes de construction différents ; si Agrimonde GO part de la situation actuelle et évolue d'une manière plutôt tendancielle, Agrimonde 1 est construit sur la base d'objectifs de durabilité supposés satisfaits en 2050 pour explorer les trajectoires permettant de les atteindre.

Deux principes de construction des scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO ont été retenus :

- Apprécier la capacité de chaque grande région du monde à satisfaire ses besoins alimentaires en 2050, et donc n'envisager les échanges interrégionaux qu'après avoir évalué dans quelle mesure les productions agricoles de chacune des régions permettent de couvrir les besoins locaux.
- Appréhender les effets des évolutions démographiques à venir sans les masquer par de grands mouvements de migrations internationales de façon à aborder pleinement les implications qu'auront les explosions démographiques attendues sur les capacités de chaque région à nourrir sa propre population.

¹⁸ Griffon M., 2006, *Nourrir la planète – Pour une révolution doublement verte*, Odile Jacob.

Figure 1 : Les scénarios du Millennium Ecosystem Assessment¹⁹

Mondialisation

GLOBAL ORCHESTRATION : Une société mondialement connectée dans laquelle la croissance économique prime

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 : Un monde « jardiné » ; une nature entièrement humanisée par la technique mise au service de l'environnement

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. Conjugée 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.

Réactivité

ORDER FROM STRENGTH : Un monde fragmenté dans lequel la préservation de la sécurité nationale passe au premier plan

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. Habités 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.

Proactivité

ADAPTING MOSAIC : Un monde décentralisé et hétérogène, une mosaïque de stratégies locales de gestion des écosystèmes

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'aggravent.

Régionalisation

¹⁹ Carpenter S. R., Pingali P. L., Bennett E. M., Zurek M. B. (eds.), 2005, *Ecosystems and Human Well-being: Scenarios, Volume 2, The Millennium Ecosystem Assessment*, Washington DC. Les scénarios du MEA se différencient selon deux axes : 1) la configuration géopolitique (mondialisation versus régionalisation), 2) la gestion des enjeux environnementaux (proactive versus réactive).

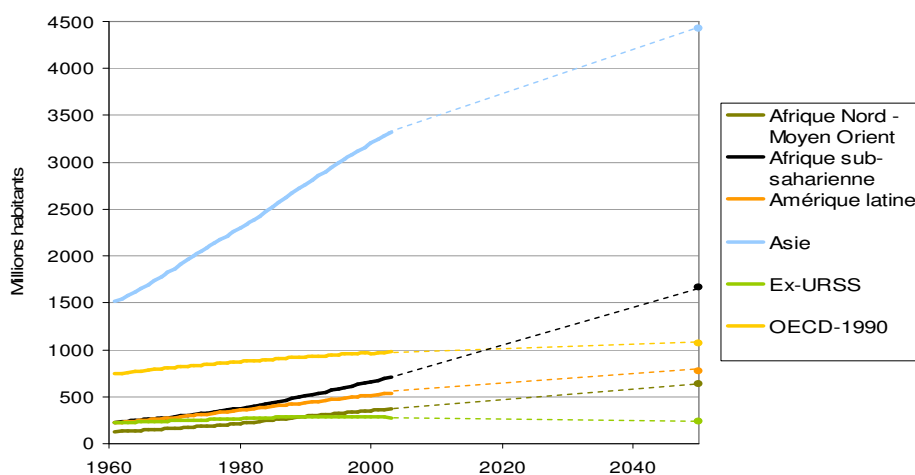
L'outil, tel qu'il a été développé à ce stade, impose cependant un certain nombre de limites à l'ambition de construction de scénarios pour les agricultures et alimentations du monde à l'horizon 2050. Tout d'abord, il n'existe pas d'estimations chiffrées précises et complètes des interactions entre changement climatique et agriculture. Par conséquent, les phénomènes climatiques (variabilité accrue, modification de la pluviométrie, hausse des températures, dégel de certaines terres, etc.) n'ont été pris en compte qu'à dire d'experts. En s'inspirant des scénarios du GIEC, les experts ont modulé leurs hypothèses relatives aux surfaces cultivées et aux rendements possibles en 2050 dans les différentes régions. En outre, ils n'ont pas pu évaluer de façon robuste les conséquences, en termes d'émissions de gaz à effet de serre, de différents types de changement d'occupation des sols (ceux-ci étant de surcroît associés dans les scénarios à des changements de pratiques agricoles), d'une intensification de l'agriculture par le biais de sa motorisation et de l'usage d'intrants d'origine pétrochimique, ou encore de productions animales plus ou moins importantes. Ensuite, même si la notion de pression sur les ressources naturelles est prégnante dans l'analyse à divers égards (déforestation résultant de l'extension des terres cultivées, stress hydrique induit par les évolutions climatiques et démographiques, dégradation des sols et des eaux causée par les pratiques agricoles, etc.), le module quantitatif n'intègre pas d'indicateurs chiffrés de consommation des ressources naturelles tels que les quantités d'eau ou d'énergie consommées. Enfin, Agrimonde 1 se fonde sur l'hypothèse du rôle moteur du développement agricole dans le développement économique global et dans la lutte contre la pauvreté²⁰. Toutefois, l'outil construit ne permet pas de vérifier si les augmentations de production agricole supposées dans chaque région permettent de contribuer à un développement économique suffisant, notamment pour éviter les phénomènes de migrations massives.

II.2 Les scénarios quantitatifs

Dans les scénarios Agrimonde, la quantification des emplois et des ressources alimentaires pour 2050 est réalisée à l'échelle de chaque région. Les emplois sont simulés principalement sur la base d'hypothèses à l'échelle régionale de population et du niveau de calories consommé pour chaque type de biomasse considéré (végétale, animale, aquatique). La quantification des ressources régionales se fonde principalement (i) pour les calories végétales, sur des hypothèses de surfaces alimentaires et de rendements caloriques par hectare, (ii) pour les calories animales, sur des fonctions de production animale régionales (cf. encadré 1), (iii) pour les calories aquatiques, sur l'hypothèse selon laquelle la production régionale couvre les besoins régionaux en 2050.

Quelles populations en 2050 ?

Figure 2 : Populations régionales de 1961 à 2003 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde



Source : FAOSTAT (1961-2003) & UNSTAT (2050)

²⁰ Banque mondiale, 2008, *Rapport sur le développement dans le monde, L'Agriculture au service du développement*.

Les hypothèses d'Agrimonde 1 et d'Agrimonde GO²¹ concernant les populations mondiales et régionales en 2050 reposent sur la projection médiane des Nations-Unies²² (cf. figure 2). Celle-ci chiffre à un peu plus de 9 milliards le nombre d'habitants sur la planète en 2050. Rappelons que 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, permet aux scénarios, comme indiqué précédemment, 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.

Quelles consommations alimentaires en 2050 ?

Les consommations alimentaires obéissent à des trajectoires très différentes dans les deux scénarios (cf. figure 3). Le scénario Agrimonde GO reprend les hypothèses du scénario *Global Orchestration* du MEA, dans lequel la croissance économique explique largement les niveaux de consommation²³. On peut le qualifier de tendanciel en termes d'évolution du niveau de consommation de calories alimentaires ; la croissance économique y tire la consommation dans toutes les régions pour atteindre une disponibilité moyenne mondiale de 3590 kcal/hab./jour (cf. encadré 2) et la sous-alimentation en est considérablement réduite. Le scénario Agrimonde 1 se distingue très nettement de cette évolution tendancielle. La relation qui lie le revenu et la consommation alimentaire n'est pas la plus déterminante, en raison des préoccupations liées à la santé, à l'équité et à l'environnement. L'hypothèse de disponibilité alimentaire (cf. encadré 2) retenue pour 2050 est de 3000 kcal/hab./jour dans toutes les régions, tout en maintenant certaines spécificités régionales, perceptibles dans la décomposition des calories animales par source (monogastriques, ruminants et produits halieutiques). Ce jeu d'hypothèses représente une rupture majeure par rapport aux tendances observées entre 1961 et le début du XXI^{ème} siècle. Il 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 a augmenté de 25% en 50 ans, et dans la région OCDE-1990 pour laquelle elle a diminué d'un quart (cf. figure 3). Ces 3000 kcal sont décomposées en 2500 kcal de produits végétaux et 500 kcal de produits animaux, la répartition entre monogastriques et ruminants variant selon les régions. Globalement, la part de monogastriques est en progression dans toutes les régions, tandis que la proportion de ruminants, si elle est en augmentation en Afrique subsaharienne, diminue tout en restant importante dans les zones OCDE-1990, Ex-URSS et Amérique latine. La part des calories d'origine aquatique a augmenté selon des progressions différenciées, qui tiennent aux possibilités de production régionales. Une différence a été introduite entre calories d'eau douce et calories d'eau marine ; en effet, les océans représentent un gisement considérable de productivité, mais 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 d'eau douce seront exacerbées. Ainsi, il est supposé 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 régions²⁴.

Encadré 2 : 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 2000 et 3000 kcal/jour selon le sexe, la taille, le poids et l'intensité de l'activité physique.

²¹ Rappelons que Agrimonde GO reprend les mêmes hypothèses de populations qu'Agrimonde 1. Ce parti pris répond à la volonté de pouvoir facilement comparer les deux scénarios dans leur capacité à satisfaire les besoins alimentaires en 2050.

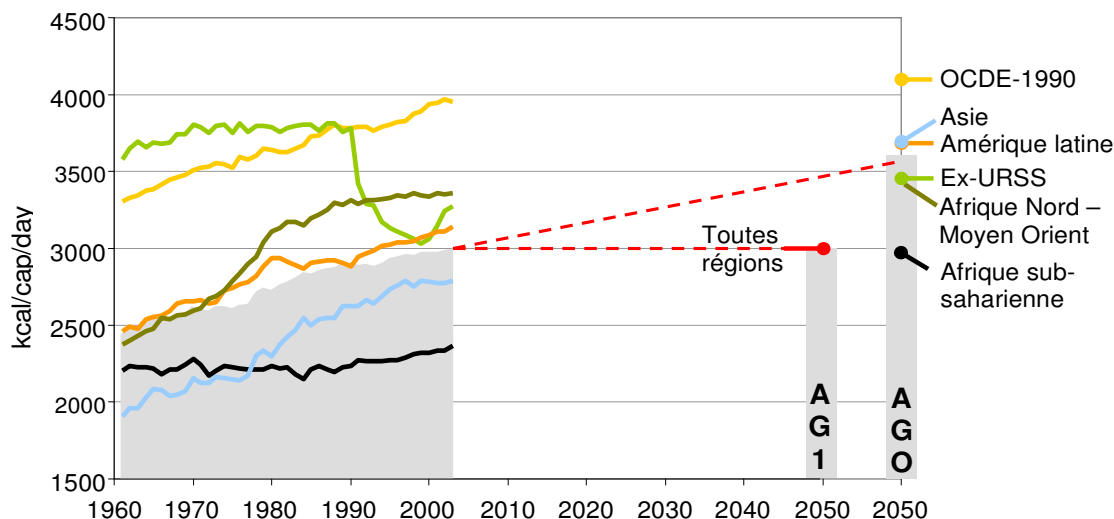
²² ONU, 2006, *World Population prospects: the 2006 revision*.

²³ Les disponibilités totales aux niveaux régionaux et mondial du scénario *Global Orchestration* sont données dans le rapport du MEA mais leur décomposition par produit n'est pas précisée. Ainsi, pour quantifier les hypothèses de consommation alimentaire du scénario Agrimonde GO, nous avons procédé à des extrapolations précisées dans le rapport.

²⁴ Dans Agrimonde 1, le rythme de développement de l'aquaculture marine est élevé en Asie, en OCDE-1990 et en Amérique latine, et modéré dans les autres régions.

Le jeu d'hypothèses sur les consommations alimentaires suppose que les régimes alimentaires vont pouvoir diverger des tendances en cours et tenir compte des objectifs de développement durable du fait des tensions plus fortes sur les ressources et des problèmes de santé publique associés à l'alimentation. Il s'agit donc d'un jeu d'hypothèses très fortes puisqu'il implique une prise en compte par les consommateurs, par les producteurs et par les politiques publiques des conséquences globales et locales des modes de production et de consommation alimentaire sur l'environnement et la santé.

Figure 3 : Disponibilités alimentaires moyennes régionales de 1961 à 2003 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde²⁵



Le choix de ce jeu d'hypothèses par le groupe de travail répond à quatre types d'enjeux :

- L'écart très marqué qui existe aujourd'hui entre les disponibilités observées et les recommandations de la FAO. En effet, alors qu'une disponibilité moyenne de 3000 kcal/hab./jour est jugée satisfaisante, par la FAO, à l'échelle d'une population, pour garantir à chacun une alimentation suffisante et saine²⁶, les disponibilités moyennes par habitant en 2000 approchent les 4000 kcal/hab./jour dans la zone OCDE-1990, atteignant presque 4500 kcal/hab./jour aux Etats-Unis, alors qu'elles demeurent inférieures à 2500 kcal/hab./jour en Afrique subsaharienne²⁷.
- L'importance de l'équité dans un scénario de développement durable. Sur ce point, le groupe de travail aurait pu retenir, comme P. Collomb dans *Une voie étroite pour la sécurité alimentaire en 2050*²⁸, une hypothèse selon laquelle chaque région atteint au moins environ 3000 kcal/hab./jour, certaines pouvant dépasser ce niveau. Il a choisi de tester une hypothèse plus forte de convergence des disponibilités moyennes pour l'alimentation.
- La relation santé-alimentation. Une disponibilité de 3000 kcal/hab./jour peut avoir des conséquences positives en termes de santé publique en maintenant la proportion de sous-alimentés à un chiffre relativement bas et donc en diminuant les risques de sous-alimentation dans les pays en développement, mais également en limitant la surconsommation qui favorise la survenue de maladies non transmissibles liées à l'alimentation.
- La relation entre régimes alimentaires et pressions sur les ressources naturelles. L'objectif de nourrir convenablement 9 milliards d'habitants en 2050 suppose, quelles que soient les méthodes de production envisagées, une pression importante sur les ressources naturelles, qui s'accroît avec une augmentation de la part des produits animaux dans les régimes alimentaires. En effet, la

²⁵ Les données utilisées pour cette figure et pour les suivantes, pour les années 1961 – 2003, sont essentiellement issues du retraitement des données de la FAO. AG1 correspond à Agrimonde 1 et AGO à Agrimonde GO.

²⁶ FAO, 2002, *Agriculture mondiale : horizon 2015/2030* et FAO, 2003, *Méthodologie de la FAO pour mesurer la prévalence de la sous-alimentation*.

²⁷ Ces écarts peuvent s'expliquer par la dispersion des régimes au sein même des populations considérées, mais aussi par le fait que la quantité ingérée peut dépasser, dans les pays riches, le seuil de 3000 kcal ou encore par la proportion des pertes entre la mise à disposition auprès de l'utilisateur et la consommation réelle, en fonction des modes de consommation.

²⁸ Collomb P., 1999, *Une voie étroite pour la sécurité alimentaire d'ici à 2050*, Economica, Paris.

production de calories animales demande un volume conséquent de calories végétales, d'eau²⁹ et d'énergie³⁰. La production de ruminants est génératrice de gaz à effet de serre (méthane, dioxyde de carbone et hémioxyde d'azote) de manière directe (respiration, rumination) ou indirecte (alimentation animale, transformation, transport), cette dernière composante devenant de plus en plus importante avec l'intensification de la production. Toutefois, il est important d'être prudent concernant l'impact environnemental des productions animales. En effet, on peut considérer que l'on trouve un avantage à 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)³¹. Des avantages de la production de ruminants résident encore dans la valorisation de terres souvent incultivables (zones d'altitude, de pentes, semi-arides...), et dans le stockage de carbone par ces surfaces³².

Quelles occupations des sols en 2050 ?

Dans Agrimonde GO, nous avons retenu les hypothèses d'évolution de l'occupation des sols faites par le MEA pour le scénario *Global Orchestration* (cf. tableau 2)³³. Dans le MEA, le chiffrage des différents types de surfaces est calculé grâce au modèle IMPACT qui les traite comme une des composantes de l'équation qui vise à équilibrer la production alimentaire avec la demande.

Dans Agrimonde 1, 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 de surfaces. Concrètement, le groupe de travail a procédé en trois étapes :

1. L'identification des réserves de terres potentiellement cultivables de chaque région, grâce aux évaluations de la FAO³⁴ et de l'IIASA-FAO³⁵.
2. Le chiffrage des surfaces nouvellement cultivées et des nouveaux périmètres irrigués en 2050, et par conséquent, des surfaces en forêt et en pâture restantes. Celui-ci s'est fondé, dans chaque région, sur l'analyse des dynamiques passées, des hypothèses réalisées dans d'autres exercices de prospective (scénarios du MEA, de Michel Griffon, de l'IFPRI et de l'IWMI³⁶...), et enfin sur l'identification des facteurs susceptibles de favoriser une extension des surfaces agricoles ou au contraire leur recul (cf. tableau 1). Le groupe de travail a choisi de limiter la déforestation, même lorsque cela supposait de fortes ruptures de tendance, considérant qu'une agriculture durable repose de façon déterminante sur les services écosystémiques rendus par les forêts.
3. Le chiffrage spécifique des surfaces dédiées à la production d'agro-carburants³⁷. Le groupe de travail a fait l'hypothèse qu'une nouvelle génération d'agro-carburants, produite à partir de ligno-cellulose, de sous-produits alimentaires ou 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.

Pour résumer, dans Agrimonde GO, entre 2000 et 2050, les surfaces cultivées mondiales auront progressé de 23%, à un rythme moyen de 6,8 millions d'hectares nouvellement cultivés par an, soit un rythme plus de deux fois plus rapide que celui observé entre 1961 et 2000 (cf. figure 4). Les nouvelles surfaces cultivées auront été trouvées essentiellement en Afrique subsaharienne et en Amérique latine et dans une moindre mesure en Asie et en OCDE-1990 alors que la superficie cultivée aura stagné dans les deux régions restantes. Les tendances à l'accroissement de la superficie en pâture et

²⁹ D'après Zimmer et Renault, il faut, par exemple en Californie, 100 litres d'eau pour 1 kg de pomme de terre, 4600 litres pour 1 kg de viande de porc, 4100 litres pour 1kg de viande de poulet et 13 000 litres d'eau pour 1 kg de viande de bœuf. Ces chiffres sont des indications qui varient en fonction des sols, des climats, et des systèmes de production, notamment lorsque les porcs sont nourris à l'aide de déchets, mais donnent une indication de l'écart entre les consommations d'eau des différentes denrées alimentaires : Zimmer D. et Renault D., 2003, "Virtual Water in Food Production and Global Trade: Review of Methodological Issues and Preliminary Results", *Value of Water Research Report Series No. 12*.

³⁰ D'après Pimentel, il faut par exemple aux Etats-Unis, 2700 kcal d'énergie fossile pour produire 100 kcal de porc et 1600 kcal pour produire 100 kcal de bœuf : Pimentel D. et Pimentel M., 1996, *Food, energy and society*, CRC Press.

³¹ Cependant, les systèmes se sont intensifiés ces 40 dernières années ce qui s'est traduit par la diminution des pâtures et l'augmentation de concentrés, notamment des grains.

³² Les ruminants ont également des utilités diverses : ils représentent un capital pour leur propriétaire, fournissent des amendements organiques et sont souvent utilisés comme bêtes de trait, ils fournissent un apport nutritionnel et une trésorerie régulière à des populations, souvent parmi les plus pauvres du monde en regard des critères économiques.

³³ Les surfaces de références pour l'année 2000 étant différentes dans les données du MEA et d'Agrimonde, 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.

³⁴ FAO, 2002, *Agriculture mondiale : horizon 2015/2030* – Rapport Abrégé.

³⁵ Fischer G., Velthuisen H. van, Nachtergaele F. O., 2002, *Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results*, Research Report RR-02-02, IIASA, Laxenburg, March.

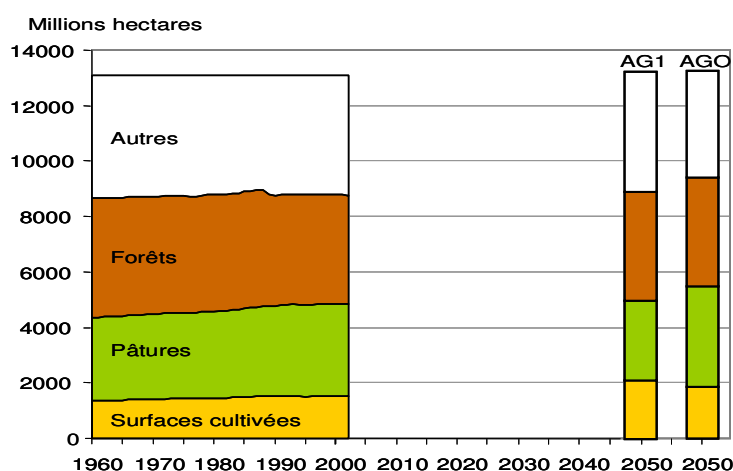
³⁶ *International Food Policy Research Institute et International Water Management Institute*.

³⁷ Les surfaces en agro-carburants constituent une partie des « SCNA », surfaces cultivées non alimentaires. Celles-ci incluent en outre les biomatériaux, fibres, tabacs, caoutchouc, etc.

à la déforestation observées entre 1961 et 2000 se seront poursuivies, quoiqu'à un rythme moins soutenu. Les pâtures auront gagné 244 millions d'hectares, en grande partie au détriment des surfaces qualifiées de « autres » et des espaces forestiers qui en auront perdu 38 millions (soit 1% de leur superficie³⁸). Ce phénomène est particulièrement bien illustré en Afrique subsaharienne et en Asie où les savanes progressent de respectivement 288 et 170 millions d'hectares en grande partie sur des espaces anciennement forestiers. Ce sont les phénomènes inverses qui prévalent en Ex-URSS et en OCDE-1990, qui remplacent respectivement environ 147 et 144 millions d'hectares pâturés essentiellement par de la forêt. En Amérique latine, la déforestation aura été presque stoppée. Enfin, à part en Asie où les périmètres irrigués auront encore augmenté, ils n'auront que légèrement progressé dans toutes les autres régions du monde.

Dans Agrimonde 1, l'extension des surfaces agricoles aura été encore plus importante puisque la surface cultivée mondiale aura progressé de près de 40% entre 2000 et 2050 (cf. figure 4). Avec une moyenne de 12 millions d'hectares nouvellement cultivés par an, le rythme de mise en culture aura triplé par rapport à celui observé entre 1961 et 2000. La conquête de nouveaux espaces cultivés aura essentiellement concerné l'Amérique latine et l'Afrique subsaharienne, comme dans Agrimonde GO, suivies par l'Ex-URSS et l'Asie, puis la région OCDE-1990. La surface cultivée de l'Afrique du Nord – Moyen Orient aura en revanche stagné. La préservation de la forêt étant un objectif fort dans Agrimonde 1, les pâtures seront donc devenues la variable d'ajustement, à l'inverse d'Agrimonde GO. Elles auront perdu 495 millions d'hectares (soit 15% de leur superficie en 2000) alors que les forêts n'auront régressé que de 46 millions d'hectares (soit 1% de leur superficie en 2000³⁹). La déforestation se sera essentiellement concentrée en Afrique subsaharienne, en Asie et en Amérique latine (quoique dans une moindre mesure, le groupe de travail envisageant que les actions des différents groupes de pression pour la conservation de la forêt amazonienne auront été efficaces). Parallèlement, les régions Afrique du Nord – Moyen Orient et Ex-URSS auront réussi à conserver la totalité de leurs espaces forestiers, la première région par volonté de préserver ses ressources hydriques et la deuxième parce qu'elle aura su orienter l'extension de ses terres productives vers les terres dégelées du pergélisol. Dans la région OCDE-1990, le phénomène de reforestation observé entre 1990 et 2003 se sera accentué jusqu'en 2050. Quant aux périmètres irrigués, ils auront été maintenus dans toutes les régions sauf en Afrique subsaharienne où ils auront doublé et en Asie où ils auront légèrement progressé. En résumé, en 2050 dans le scénario Agrimonde 1, l'Amérique latine et l'Afrique subsaharienne seront loin d'avoir exploité tout leur potentiel cultivable et pourront se permettre de n'exploiter que des terres à haut potentiel de rendement. Les régions OCDE-1990 et Ex-URSS devront cultiver une partie de leurs terres à moindre potentiel tandis que l'Asie et l'Afrique du Nord – Moyen Orient seront contraintes de cultiver des terres marginales.

Figure 4 : Occupation des sols dans le monde de 1961 à 2003 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde⁴⁰



³⁸ Par rapport à la surface en 2000 calculée par le MEA.

³⁹ Par rapport à la surface en 2000 de Agribiom.

⁴⁰ Dans le graphique AG1 désigne Agrimonde 1 et AGO désigne Agrimonde GO. Les surfaces cultivées rassemblent les cultures alimentaires et les cultures non-alimentaires.

Tableau 1 : 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		<ul style="list-style-type: none"> - 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	<ul style="list-style-type: none"> - 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 	<ul style="list-style-type: none"> - Aridification suite au changement climatique
Amérique latine	<ul style="list-style-type: none"> - Réserve de terres cultivables - Politiques agricoles (recherche, formation, développement) - Croissance de la production d'agro-carburants 	<ul style="list-style-type: none"> - Aridification en Amérique centrale et du <i>cerrado</i> suite au changement climatique - Montée en puissance des différents groupes de pression pour la préservation de la forêt amazonienne
Asie	<ul style="list-style-type: none"> - Population agricole en forte croissance 	<ul style="list-style-type: none"> - 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	<ul style="list-style-type: none"> - Réserve de terres cultivables - Fonte du pergélisol 	<ul style="list-style-type: none"> - Déclin démographique
OCDE-1990	<ul style="list-style-type: none"> - Réserve de terres cultivables - Fonte du pergélisol au Canada - Croissance de la production d'agro-carburants 	<ul style="list-style-type: none"> - Reboisement - Mécanisme de conservation d'espaces protégés

Tableau 2 : Evolution de l'occupation des sols : 1961-2003 et 2000-2050 dans les scénarios Agrimonde

Type d'occupation	Région	Taux de variation 1961-2000	Taux de variation 2000-2050		Région	Taux de variation 1961-2000	Taux de variation 2000-2050	
			Agrimonde 1	Agrimonde GO**			Agrimonde 1	Agrimonde GO**
Culture*	Afrique du Nord – Moyen Orient	+ 14%	+ 9%	+ 12%	Asie	+ 23%	+ 23%	+ 11%
Pâture		+ 39%	- 2%	- 2%		+ 36%	- 9%	+ 30%
Forêt		- 33%	0%	- 35%		- 5%	- 10%	- 11%
Culture*	Afrique subsaharienne	+ 33%	+ 76%	+ 58%	Ex-URSS	- 15%	+ 53%	+ 10%
Pâture		+ 2%	- 12%	+ 49%		+ 19%	- 16%	- 41%
Forêt		- 10%	- 9%	- 31%		- 8%	0%	+ 12%
Culture*	Amérique latine	+ 58%	+ 91%	+ 64%	OCDE-1990	- 2%	+ 18%	+ 12%
Pâture		+ 20%	- 20%	- 1%		- 8%	- 23%	- 19%
Forêt		- 9%	- 4%	- 1%		- 9%	+ 10%	+ 13%
Culture*	Monde	+ 12%	+ 39%	+ 23%				
Pâture		+ 11%	- 15%	+ 7%				
Forêt		- 9%	- 1%	- 1%				

* Culture = cultures alimentaires + cultures non alimentaires

** 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.

Quels rendements des cultures alimentaires en 2050 ?

Dans Agrimonde GO, le chiffrage des rendements des cultures alimentaires en 2050 correspond à celui du scénario *Global Orchestration* du MEA⁴¹ (cf. tableau 4). Dans les scénarios du MEA, les rendements sont calculés par le modèle 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, déterminés principalement par les investissements en agriculture et l'efficacité de l'utilisation de l'eau et de l'énergie.

Dans Agrimonde 1, les hypothèses de rendements sont faites à dire d'experts, qui considèrent l'évolution passée des rendements régionaux, l'impact envisagé du changement climatique sur les potentiels de rendement régionaux et le potentiel de rendement attendu des pratiques d'intensification écologique (cf. tableau 3). Par ailleurs, dans le cadre d'un exercice de prospective destiné à alimenter les réflexions sur les orientations de recherche à long terme, le groupe de travail a 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 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.

Pour construire les hypothèses sur les rendements, le travail s'est déroulé en trois étapes :

1. L'observation des tendances passées et l'identification de ruptures possibles : l'analyse des courbes régionales de productivité par hectare mises à disposition par Agribiom 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 du scénario. 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 était le niveau de rendements atteint en 2000 qui pouvait suggérer que les possibilités de gains de rendements n'avaient pas encore été pleinement activées lorsque le niveau de rendement de 2000 était particulièrement bas.
2. La mise en cohérence de la fourchette de rendements retenus avec les hypothèses de surfaces d'Agrimonde 1, et particulièrement avec le potentiel de rendements 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 (cf. tableau 3).
3. La comparaison avec les exercices de prospective agricole existants⁴² : MEA, IAASTD, scénario de Michel Griffon à 2050 et scénarios de l'IFPRI et de l'IMWI à 2020 et 2025.

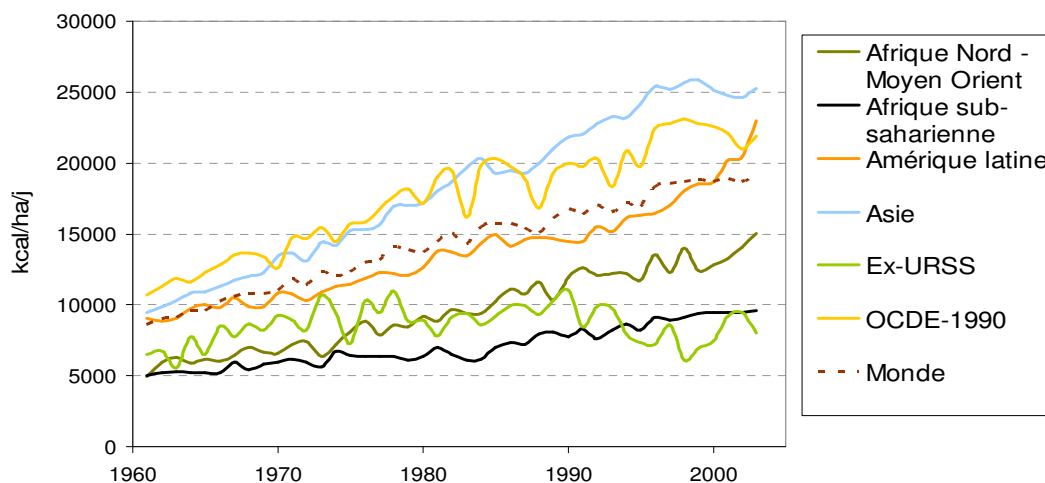
L'analyse de l'évolution des productions de calories alimentaires par hectare cultivé entre 1961 et 2000 permet de dégager deux grands groupes de régions (cf. figure 5) : celles qui ont conservé les rendements les plus bas durant toute la période (Afrique subsaharienne, Afrique du Nord – Moyen Orient, Ex-URSS), et celles qui ont conservé les rendements les plus élevés durant toute la période (Amérique latine, Asie et OCDE-1990). 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 jusqu'en 2050 et l'Asie, dont le rendement des cultures alimentaires a encore progressé de 85% entre 2000 et 2050, est de loin la région la plus productive du monde avec 46 416 kcal végétales/ha/jour. Même si l'OCDE-1990 reste la troisième région la plus productive, ses gains de rendements 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-1990 en 2000. Enfin, avec pourtant 71% de gain de rendement, l'Ex-URSS reste la région la moins productive du monde. 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 (cf. tableau 4 et figure 6).

⁴¹ Après conversion des rendements céréaliers, donnés dans le MEA en tonnes par hectare, en une approximation du rendement des cultures alimentaires en kcal/ha/jour.

⁴² Rappelons que ces scénarios présentent des évolutions de rendements céréaliers alors que l'on travaillera sur des rendements toutes cultures confondues dans les scénarios Agrimonde, exprimés en kcal/ha/jour.

**Figure 5 : Rendements alimentaires régionaux (1961-2003) :
Productions de calories alimentaires végétales par hectare cultivé**

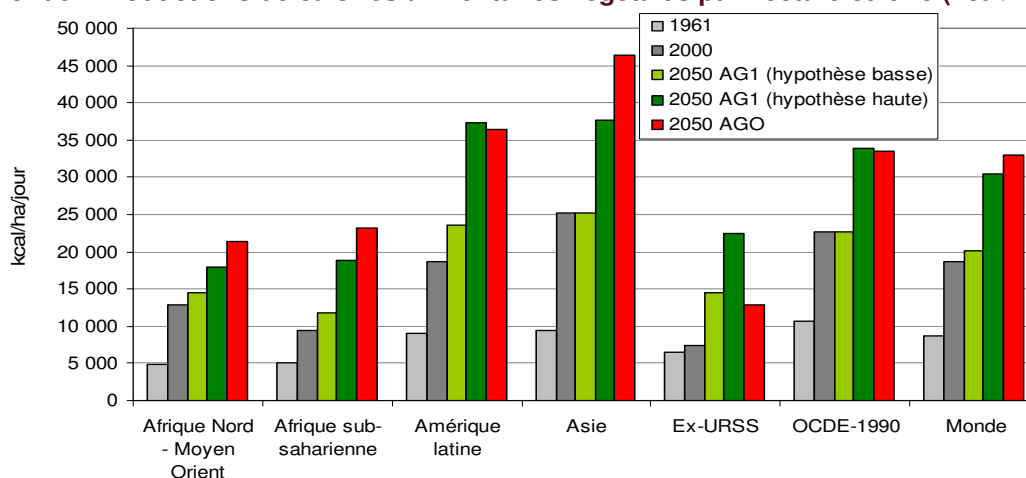


Source : B. Dorin (cf. Agribiom)

Dans le scénario Agrimonde 1, le groupe de travail a considéré qu'il y avait peu de réserves de croissance des rendements en Asie, OCDE-1990 et Afrique du Nord – Moyen Orient. Ces régions connaissent par conséquent une faible progression du rendement de leurs cultures alimentaires entre 2000 et 2050 (0 à 20 % pour la fourchette basse de rendements retenus et 40 à 50 % pour la fourchette haute). L'Amérique latine et l'Afrique subsaharienne ont plus de facilités à accroître leur niveau de rendement des cultures alimentaires et gagnent toutes les deux entre 30 % et 100% de rendements dans l'hypothèse basse et haute. Enfin, l'Ex-URSS opère un rattrapage spectaculaire ; elle double son niveau de rendement des cultures alimentaires dans l'hypothèse basse, et le triple dans l'hypothèse haute.

Les deux groupes de régions différenciés par leurs niveaux de rendement dans le passé se modifient peu entre 2000 et 2050. Néanmoins, l'écart de rendements entre la région la moins productive et la région la plus productive se réduit par rapport à la situation de 2000. En 2050, il va du simple au double, ce qui correspond aux disparités de rendements observées en 1961 (cf. tableau 4 et figure 6).

Figure 6 : Rendements alimentaires régionaux en 1961, 2000 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde : Productions de calories alimentaires végétales par hectare cultivé (kcal/ha/jour)⁴³



⁴³ Entre 1961 et 2003, les surfaces totales en culture et les surfaces en culture alimentaire ont été supposées identiques puisque les surfaces cultivées non alimentaires étaient généralement très faibles. Par conséquent, dans cette figure, les rendements sont définis comme la production de calories alimentaires végétales par hectare cultivé pour 1961 et 2000 alors qu'ils correspondent à la production de calories alimentaires végétales par hectare de cultures alimentaires en 2050.

Tableau 3 : Facteurs explicatifs de l'évolution des rendements dans 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 passé 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 <i>cerrado</i> et des sols pris sur le front pionnier forestier - Aridification en Amérique centrale et du <i>cerrado</i> 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-1990	- 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 - Evolution des objectifs du secteur agricole vers davantage de qualité des produits alimentaires

Tableau 4 : Rendements alimentaires et taux d'accroissement annuels : 1961-2000 et 2000-2050 dans les scénarios Agrimonde

Région	1961-2000			2000-2050					
	Rendements alimentaires (kcal/ha/j)		Taux d'accroissement annuel	Agrimonde 1, hypothèse basse		Agrimonde 1, hypothèse haute		Agrimonde GO	
				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
	1961	2000	1961-2000	2050	2000-2050	2050	2000-2050	2050	1997-2050
Monde	8 607	18 703	2,01	20 027	0,14	30 462	0,98	32 940	-
Afrique du Nord – Moyen Orient	4 921	12 836	2,49	14 500	0,24	17 970	0,67	21 362	1,05
Afrique subsaharienne	5 027	9 460	1,63	11 750	0,44	18 920	1,40	23 133	1,81
Amérique latine	9 041	18 688	1,88	23 500	0,46	37 376	1,40	36 494	1,45
Asie	9 485	25 134	2,53	25 100	0	37 700	0,81	46 416	1,15
Ex-URSS	6 549	7 476	0,34	14 500	1,33	22 428	2,22	12 825	0,75
OCDE-1990	10 742	22 587	1,92	22 600	0	33 880	0,81	33 507	0,73

Quels bilans ressources – emplois ?

Les hypothèses sur la population, les consommations alimentaires (végétales et animales), les surfaces (cultivées et en pâture) et les rendements permettent de construire des bilans régionaux et un bilan mondial des emplois et des ressources de biomasse végétale et animale (cf. tableau 6).

Un bilan ressources - emplois est établi pour chaque région et chaque compartiment de produit (végétal, de ruminants, de monogastriques). Le bilan ressources – emplois de biomasse traite indépendamment les calories issues de productions aquatiques d'eau douce et d'eau marine ; il a en effet été supposé qu'en 2050, chaque région produit elle-même les calories issues de productions aquatiques qu'elle consomme, et que les calories d'origine aquatique n'interagissent pas avec les calories terrestres⁴⁴. Les emplois sont composés des consommations alimentaires humaines régionales (population x disponibilités alimentaires par habitant), animales (concentrés par exemple) et autres usages (semences, pertes, Vana⁴⁵). Les ressources sont composées de la production régionale (rendements x surfaces) à laquelle est ajouté, après échange, le solde « importations – exportations ».

Dans un premier temps, les ressources et les emplois sont calculés, avant échanges, au sein de chaque région. Les bilans ressources – emplois de calories terrestres (végétales et animales) ainsi obtenus reflètent la capacité de chaque région à nourrir sa propre population. Ils permettent d'identifier les zones qui sont déficitaires en 2050 en calories et à l'inverse, celles qui produisent des excédents. Dans un second temps, afin de vérifier la capacité de la planète à nourrir la population mondiale en 2050 dans chaque scénario, des transferts interrégionaux de calories sont envisagés, depuis les régions excédentaires en calories, vers les régions déficitaires, les transferts s'effectuant sous forme de calories végétales⁴⁶.

Les résultats globaux des bilans sont présentés dans le tableau 5. Leur analyse constitue un premier test de cohérence des scénarios et ne doit pas être interprétée comme une simulation des échanges entre régions du monde. Dans Agrimonde 1, les hypothèses basses de rendements permettent d'atteindre un équilibre ressources – emplois au niveau mondial. Par conséquent, dans la suite, le scénario Agrimonde 1 correspond toujours aux hypothèses basses de rendements.

Tableau 5 : Bilans ressources – emplois

		Ressources mondiales en Gkcal/j	Emplois mondiaux en Gkcal/j	Solde mondial en Gkcal/j
Monde en 2003	Végétaux	29 341	29 341	0
	Animaux	3 544	3 543	0
Monde en 2050 Agrimonde 1	Végétaux	37 646	37 646	0
	Animaux	4 274	4 274	0
Monde en 2050 Agrimonde GO	Végétaux	53 990	53 551	440
	Animaux	8 407	8 408	0

On constate que la consommation de calories finales au niveau mondial augmente de 28% dans Agrimonde 1 et de 83% dans Agrimonde GO comparé à 2003. Cependant, l'équilibre mondial est atteint dans le scénario Agrimonde 1 comme dans le scénario Agrimonde GO même si ce dernier dispose d'un surplus.

Trois régions sont déficitaires dans les deux scénarios et doivent importer des calories pour nourrir leur population : Afrique du Nord – Moyen Orient, Afrique subsaharienne et Asie. Dans Agrimonde GO, ces régions couvrent leurs besoins en calories végétales pour l'alimentation humaine directe mais doivent importer les calories manquantes pour l'alimentation animale. Dans Agrimonde 1, l'Asie est dans la même situation, mais l'Afrique du Nord – Moyen Orient et l'Afrique subsaharienne ne disposent pas suffisamment de ressources végétales pour satisfaire l'alimentation humaine directe de leur population. Dans le même temps, trois régions disposent de surplus dans les deux scénarios : OCDE-1990, Amérique latine et Ex-URSS. Les déficits et les surplus régionaux sont cependant plus importants dans Agrimonde 1 que dans Agrimonde GO.

⁴⁴ En réalité, il existe des interactions au travers par exemple des farines de poissons données aux ruminants ou de certains produits végétaux participant à l'alimentation des élevages de poissons.

⁴⁵ Valorisations agricoles non alimentaires.

⁴⁶ Il est également possible d'effectuer les transferts entre régions sur la base de calories animales et non de calories végétales destinées à l'alimentation animale. Ce mode de transfert fait l'objet d'un autre calcul qui aboutit à une deuxième variante des bilans ressources-emplois. Pour plus de détails, se référer au rapport.

Tableau 6: Récapitulatif des scénarios quantitatifs

	Region	Population 10 ⁶ hab.	Consommation alimentaire humaine kcal/hab/j	Autres consom- mations ¹ Gkcal/j	Emploi regional à satisfaire Gkcal/j	Surface cultivée alimentaire 10 ⁶ ha	Rendements alimentaires ² kcal/ha/j	Production totale Gkcal/j	Solde ressources- emplois Gkcal/j
Agrimonde 1	Afrique du Nord – Moyen Orient	632	3 000 dont 2 500 veg	v: 1 969 a: 45	v: 3 549 a: 335	90	14 500	v: 1 302 a: 335	v: -2 247 a: 0
	Afrique subsaharienne	1 662	3 000 dont 2 500 veg	v: 3 360 a: 56	v: 7 515 a: 852	300	11 750	v: 3 525 a: 852	v: -3 990 a: 0
	Amérique Latine	774	3 000 dont 2 500 veg	v: 2 043 a: 77	v: 3 977 a: 431	250	23 500	v: 5 875 a: 431	v: +1 898 a: 0
	Asie	4 427	3 000 dont 2 500 veg	v:5 664 a: 93	v:16 732 a: 1 918	540	25 100	v:13 554 a: 1 918	v: -3 178 a: 0
	Ex-URSS	239	3 000 dont 2 500 veg	v: 419 a: 0	v: 1 017 a: 106	300	14 500	v: 4 350 a: 106	v: +3 333 a: 0
	OCDE-1990	1 066	3 000 dont 2 500 veg	v: 2 190 a: 151	v: 4 856 a: 632	400	22 600	v: 9 040 a: 632	v: +4 184 a: 0
	Monde	8 800	3 000 dont 2 500 veg	v: 15 646 a: 418	v:37 646 a: 4 274	1 880	20 027	v: 37 646 a: 4 274	v: 0 a: 0
Agrimonde GO	Afrique du Nord – Moyen Orient	632	3 457 dont 2 987 veg	v: 2 288 a: 56	v: 4 176 a: 335	93	21 362	v: 1 985 a: 335	v: -2 190 a: 0
	Afrique subsaharienne	1 662	2 972 dont 2 667 veg	v: 2 945 a: 57	v: 7 378 a: 527	263	23 133	v: 6 084 a: 528	v: -1 294 a: 0
	Amérique Latine	774	3 698 dont 2 758 veg	v: 3 796 a: 145	v: 5 930 a: 835	219	36 494	v: 7 992 a: 834	v: +2 062 a: 0
	Asie	4 427	3 703 dont. 2 766 veg	v: 10 764 a: 332	v:23 009 a: 4 188	476	46 416	v: 22 094 a: 4 189	v: -915 a: 0
	Ex-URSS	239	3 457 dont 2 091 veg	v: 1 618 a: 53	v: 2 118 a: 363	187	12 825	v: 2 398 a: 363	v: +280 a: 0
	OCDE-1990	1 066	4 099 dont 2 385 veg	v: 8 396 a: 422	v:10 939 a: 2 159	401	33 507	v: 13 436 a: 2 158	v: +2 497 a: 0
	Monde	8 800	3 588 dont 2 698 veg	v: 29 809 a: 1 065	v: 53 551 a: 8 408	1 639	32 942	v: 53 990 a: 8 407	v: +440 a: 0

¹ Alimentation animale, semences, pertes et autres usages de biomasse alimentaire

² dans l'hypothèse basse de rendements présentée dans le tableau 4

v: calories d'origine végétale

a: calories d'origine animale terrestre (hors produits aquatiques)

II.3 Des scénarios quantitatifs aux scénarios complets

Agrimonde 1 et Agrimonde GO : confrontation, cohérence, facteurs d'évolution

Il s'agit maintenant de questionner les scénarios quantitatifs construits (cf. tableau 6) pour préciser leurs dimensions qualitatives, laissées ouvertes par la quantification. A cette fin, nous nous interrogeons sur la cohérence interne des scénarios et tirons les enseignements de leur confrontation. Nous explorons, de plus, les conditions et les leviers qui permettraient d'atteindre le monde de 2050 décrit dans Agrimonde 1 dans chaque région et au niveau global. Cette analyse permet d'identifier six principaux défis pour le scénario Agrimonde 1 : 1) le développement agricole et rural, 2) les innovations pour une intensification écologique, 3) la gestion des ressources naturelles, 4) la réduction des inégalités foncières, 5) la transformation des régimes alimentaires, et 6) la gouvernance mondiale.

▪ **Le développement agricole et rural est le premier grand défi du scénario Agrimonde 1.** Les hypothèses relatives aux surfaces et aux rendements agricoles en Afrique du Nord – Moyen Orient, en Asie et en Afrique subsaharienne limitent en effet le développement de l'agriculture dans ces régions, ce qui interroge la cohérence d'Agrimonde 1 à au moins deux égards. D'une part, la solvabilité de la demande alimentaire pourrait ne pas être assurée, notamment en Afrique subsaharienne⁴⁷ alors que cette demande y est en forte hausse globale et par habitant. L'augmentation de rendement envisagée dans Agrimonde 1 (dans la fourchette basse) risque en effet de ne pas être suffisante pour permettre un décollage agricole et économique suffisant, ce qui questionne le potentiel de rendements des technologies d'intensification écologique pour cette région. En outre, ces technologies ne sont aujourd'hui que partiellement disponibles alors que les systèmes d'intensification classique le sont et vraisemblablement en mesure de permettre, comme l'imagine Agrimonde GO, des rendements bien supérieurs à ceux envisagés dans Agrimonde 1, au moins en début de période. Ainsi, si le développement de l'agriculture est la priorité en Afrique subsaharienne, ne faut-il pas envisager une trajectoire en deux temps dans cette région ? Une première phase reposerait sur la diffusion des techniques d'intensification classique, qui permettrait un « décollage » agricole, et serait suivie d'une seconde phase d'intensification écologique quand les techniques auront été développées et que les enjeux environnementaux se feront plus prégnants que les enjeux de développement. Le choix d'une telle trajectoire renvoie à la question de l'irréversibilité des choix technologiques puisque le déploiement d'un système technique crée de fortes interdépendances entre technologies, infrastructures, formation, configurations d'acteurs... qui peuvent se traduire par un *lock in* freinant les bifurcations technologiques même quand l'environnement marchand et les potentialités des nouvelles technologies rendent le « basculement » optimal.

D'autre part, en Afrique du Nord – Moyen Orient et en Asie, où l'agriculture est limitée dans son développement faute de potentiel cultivable et par des contraintes environnementales, notamment hydriques dans certaines zones, le secteur agricole risque de ne pas pouvoir employer une population rurale en forte croissance, qui migrerait alors massivement vers les villes. L'accélération de l'artificialisation des terres agricoles⁴⁸ conduirait à un cercle vicieux ne permettant pas de maintenir au niveau de 2000 les surfaces agricoles. En outre, les inégalités des conditions de vie entre les populations urbaines et rurales dans ces deux régions pourraient s'accroître dangereusement. La durabilité d'Agrimonde 1 repose donc, dans ces régions, sur des politiques économiques et d'aménagement du territoire qui devront avoir comme objectifs le développement de l'emploi rural pour contenir l'exode rural et 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.

Dans Agrimonde GO, le développement par l'agriculture est moins limité grâce à l'hypothèse de croissance importante des rendements. Toutefois, cette hypothèse est forte car elle suppose, d'une part, qu'un progrès technique rapide conjugué à une libéralisation du commerce est suffisant pour susciter le développement, et d'autre part, que les impacts du changement climatique auront été surmontés. Pourtant, le scénario Agrimonde GO, en Afrique du Nord – Moyen Orient par exemple, risque de se traduire par une vulnérabilité accrue des agro-écosystèmes, en particulier du fait de leur

⁴⁷ Le développement est évidemment le premier défi à relever en Afrique subsaharienne quel que soit le scénario. Il pose des questions déjà maintes fois soulevées sur l'accès aux capitaux, aux techniques, aux terres, à la formation, aux marchés, sur le développement des infrastructures et l'évolution de la gouvernance dans cette région ou encore sur les régulations des échanges agricoles mondiaux.

⁴⁸ A titre indicatif, 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, *Méditerranée - Les futurs agricoles et alimentaires en Méditerranée*, Presses de Sciences Po).

dépendance aux intrants (régularité des apports et efficacité des matières actives) et par une exacerbation de la pression sur la ressource en eau.

▪ **L'innovation et sa diffusion constituent un deuxième défi majeur du scénario Agrimonde 1.** Les innovations susceptibles de permettre une intensification écologique de l'agriculture sont moins de l'ordre des gains de rendement, qui sont relativement faibles par rapport à Agrimonde GO et aux tendances passées, 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, agroforesterie sur le front pionnier forestier et agriculture péri ou intra-urbaine) jouant des complémentarités des espèces dans l'espace et dans le temps. Pour autant, les gains de rendement envisagés dans certaines régions, voire même leur maintien dans d'autres, constituent des performances non négligeables, compte tenu des dégradations qu'ont connu certains écosystèmes et du changement climatique. Le réchauffement climatique aggravera en effet la salinisation, le manque d'eau et les risques associés aux événements climatiques extrêmes, dont les effets sont dès à présent accentués par le déboisement. Ce dernier phénomène pose en outre la question du mode de reproduction de la fertilité des sols, soit des techniques de fertilisation adoptées. La région Ex-URSS questionne par ailleurs le sens de l'intensification écologique dans une zone où la densité de population agricole est faible et décroissante⁴⁹. Le doublement des rendements envisagé pour cette région dans Agrimonde 1 ne pourra en effet reposer que 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 se sera aussi fondé sur le développement des techniques de l'agriculture de précision afin de limiter les pollutions chimiques.

▪ **La gestion des ressources naturelles est un troisième défi du scénario Agrimonde 1.** Tout d'abord, les politiques de gestion de la ressource en eau auront dû être renforcées de façon déterminante dans la plupart des régions, notamment en Afrique du Nord – Moyen Orient, pour rationaliser l'allocation de la ressource entre ses différents usages et mieux la valoriser. Ensuite si, dans Agrimonde 1, l'impact de l'agriculture sur les écosystèmes cultivés est modéré par la progression limitée des rendements et des techniques de production peu intensives en intrants, la forte conversion des pâtures et des forêts, notamment en Afrique subsaharienne et en Amérique latine, est susceptible d'avoir un impact non négligeable sur les services écosystémiques rendus par ces espaces, notamment sur la biodiversité de ces écosystèmes, sur les cycles de l'eau et du carbone, etc. 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 anciens cycles des macro et micro-nutriments rend les sols très fragiles. Pour sa part, dans Agrimonde GO, la nette accélération des gains de rendements accentue vraisemblablement la pression sur les terres cultivées et les progrès technologiques permettent de valoriser des espaces naturels autrefois impropres à la culture (fortes pentes, déserts, etc.). La pression s'exerçant sur les forêts est sensiblement la même, au niveau global, dans les deux scénarios. La mise en culture imaginée dans Agrimonde 1 correspond en fait à une nette inflexion des tendances puisque celle-ci se sera développée davantage sur les pâtures que sur les forêts. Or, la pression sur la forêt risque d'être d'autant plus grande que celle-ci recèle la ressource hydrique. Si les pratiques d'agroforesterie à grande échelle pourront constituer une réponse, le scénario Agrimonde 1 repose aussi sur la mise en place d'infrastructures écologiques pour les forêts primaires, ce qui permettrait à la fois la mise en culture et le maintien d'une certaine biodiversité. Le développement d'incitations à préserver la forêt, qui est donc un point clé du scénario, suppose une gouvernance mondiale forte.

▪ La forte extension des terres cultivées en Afrique subsaharienne et en Amérique latine interroge également **la durabilité du scénario Agrimonde 1 sur le plan social qui constitue un quatrième défi**, puisque l'extension territoriale risque d'exacerber les inégalités foncières déjà criantes dans ces régions. En Ex-URSS, pour saisir les opportunités d'extension territoriale au Nord permises par le réchauffement climatique, il aura fallu concevoir un cadre juridique et une politique foncière présidant à la redistribution des nouvelles terres prises sur le pergélisol. Les conditions d'accès aux nouveaux espaces mis en culture et la répartition de la rente fournie par leur exploitation sont donc des aspects importants de la cohérence du scénario Agrimonde 1.

⁴⁹ L'analyse des scénarios pour cette région souligne le fort contraste régional en termes de densité de population, qui questionne le principe même de construction du scénario selon lequel les migrations régionales resteraient limitées, d'ici à 2050, à l'ampleur connue dans le passé.

- **Le cinquième défi que souligne le scénario Agrimonde 1 et sa confrontation à Agrimonde GO concerne les comportements alimentaires.** Dans Agrimonde 1, en 2050 toutes les régions du monde voient leur demande moyenne en calories par habitant et par jour tendre vers 3000 kcal. Agrimonde GO envisage au contraire des évolutions tendancielle des consommations alimentaires. Ainsi, par exemple, alors que la demande calorique par habitant augmente de 8% en Asie dans Agrimonde 1, elle progresse de 30% dans Agrimonde GO, poussée par l'augmentation des revenus et la généralisation de comportements alimentaires urbains et, de façon liée par le poids croissant des calories d'origine animale dans les régimes alimentaires. La possibilité de contenir l'augmentation de la consommation alimentaire moyenne est déterminante à deux égards dans le scénario Agrimonde 1 : 1) l'équilibre ressources – emplois alimentaires au niveau mondial en dépend beaucoup ; 2) sa durabilité sur le plan de la santé également, si la progression de l'obésité qui accompagne aujourd'hui la transition nutritionnelle dans les pays en développement s'accroît encore. Pour la région OCDE-1990, la réduction de la consommation calorique moyenne par habitant de 25% entre 2000 et 2050 imaginée dans Agrimonde 1 est bien entendu une rupture de tendance majeure. 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.
- **Au niveau global, le principal défi du scénario Agrimonde 1 est celui des régulations et modes de gouvernances interrégionales qui permettraient de le faire émerger.** D'une part, Agrimonde 1 suppose des échanges interrégionaux massifs entre régions qui affichent des surplus et régions qui ne peuvent satisfaire localement les besoins alimentaires envisagés. Ces échanges y sont même plus importants que dans Agrimonde GO (qui est pourtant un scénario de libéralisation des échanges). Ces possibilités d'échanges reposent sur des régulations qui, d'un côté, doivent éviter des distorsions de prix défavorables au développement de l'agriculture, et d'un autre côté, doivent permettre de révéler les coûts environnementaux des activités agricoles pour inciter les agriculteurs à mettre en œuvre des systèmes d'exploitation plus durables. D'autre part, comme indiqué précédemment, Agrimonde 1 suppose que des politiques aient été mises en œuvre à l'égard de la forêt, permettant de ralentir la déforestation. L'harmonisation des politiques de gestion des ressources naturelles au niveau mondial, et l'articulation des initiatives régionales et globales apparaissent donc comme des dimensions importantes du scénario Agrimonde 1. Ensuite, les effets du changement climatique sur l'agriculture concernent toutes les régions du monde et menacent la sécurité alimentaire de certaines d'entre-elles, comme l'Asie et l'Afrique du Nord – Moyen Orient. Agrimonde 1 appelle donc des régulations mondiales pour lutter contre le changement climatique mais aussi pour assurer la sécurité alimentaire au travers de l'aide au développement et de dispositifs de sécurisation des approvisionnements. En outre, on peut imaginer que les investissements directs, 'émergents' au début du siècle, dans de grands domaines agricoles, notamment africains, par des pays contraints en termes de potentiel agricole vont se développer. Des mécanismes spécifiques de régulation et de gouvernance seront donc à imaginer pour garantir la durabilité tant sociale qu'environnementale de tels investissements et pour qu'ils constituent de réelles opportunités de développement pour les pays d'accueil.

Le monde en 2050 dans les scénarios Agrimonde

L'analyse des scénarios, en termes de cohérence et de leviers d'action, et leur confrontation ont permis de préciser certaines hypothèses qualitatives du scénario Agrimonde 1. Sur cette base, le groupe de travail a cherché à identifier les facteurs, qui n'avaient pas encore été traités dans l'analyse mais susceptibles d'influencer de manière déterminante, à l'horizon 2050, les agricultures et alimentations du monde. Ces facteurs ont été regroupés en sept dimensions thématiques : 1) le contexte mondial, 2) les régulations internationales, 3) les dynamiques de la production agricole, 4) les dynamiques de la consommation de biomasse, 5) les stratégies des acteurs, 6) les connaissances et technologies dans le champ de l'agriculture et de l'alimentation et 7) le développement durable. C'est en faisant des hypothèses sur ces différentes dimensions, dans un souci de cohérence et de plausibilité d'ensemble du scénario, que le groupe de travail a abouti à un scénario complet. Un récit possible du scénario Agrimonde 1 est donc proposé ici, ainsi que celui d'Agrimonde GO qui s'appuie sur celui qu'ont proposé les experts du MEA pour le scénario *Global Orchestration*⁵⁰.

⁵⁰ Carpenter S. R., Pingali P. L., Bennett E. M., Zurek M. B. (eds.), 2005, *Ecosystems and Human Well-being: Scenarios, Volume 2, The Millennium Ecosystem Assessment*, Washington DC.

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 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. La croissance économique a été très forte, supérieure aux moyennes historiques dans plusieurs régions (Afrique subsaharienne, Asie et Ex-URSS notamment), 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. Les faibles barrières commerciales ont favorisé la diffusion rapide des technologies et les firmes multinationales se sont beaucoup impliquées dans l'innovation. Celle-ci a été de pair avec une dynamique puissante de création d'entreprises.

Ce scénario de forte croissance a vu une hausse rapide de la demande énergétique, notamment d'origine fossile mais les progrès techniques ont permis d'améliorer substantiellement l'efficacité énergétique. L'électricité est partiellement produite à partir d'énergies renouvelables (10% de la production totale d'énergie en 2050) et de biomasse. Les surfaces en agro-carburant ont en effet beaucoup progressé par rapport au début du siècle, poussées par l'augmentation du prix des carburants fossiles.

Les conditions sont remplies pour que les problèmes environnementaux globaux, notamment ceux associés au changement climatique et à la pêche, soient traités grâce à la coopération internationale. Mais, le souci de l'environnement passant après d'autres priorités – croissance économique et sociale, amélioration du bien-être matériel des hommes – les problèmes environnementaux ne sont pris en considération que lorsqu'ils deviennent incontournables et les citoyens ont plutôt confiance en la capacité de la science à les traiter. Ainsi aucune politique climatique n'est engagée dans ce scénario au cours des premières décennies.

La disponibilité calorique par jour et par habitant pour l'alimentation a augmenté de 818 kilocalories au niveau mondial entre 2000 et 2050. Les plus fortes progressions ont eu lieu en Asie, en Afrique subsaharienne et en Amérique latine et 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 rapide et une urbanisation poussée, s'accompagne d'un contenu plus riche en protéines des régimes alimentaires, les populations consommant plus de viande et de poisson. Cette évolution a favorisé la progression de l'obésité dans de nombreuses régions (Asie, Afrique), qui ont dû déployer des politiques nutritionnelles pour tenter de l'enrayer.

Les techniques développées permettent des pratiques de cultures plus intensives, une utilisation poussée des engrais et d'un matériel végétal dont une part importante est génétiquement modifiée. La grande majorité des exploitations agricoles, petites comme grandes, sont devenues très mécanisées et industrielles. Le savoir local a souvent été remplacé par des méthodes industrielles standardisées et la variété des espèces agricoles 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 le développement de nouvelles souches génétiques.

Agrimonde 1 : nourrir la planète en préservant les écosystèmes

Entre 2000 et 2050, la croissance économique mondiale a été tirée par celle des économies en développement. Outre la diffusion des pratiques d'intensification écologique, c'est toute une infrastructure d'aménagement du territoire et des filières qui s'est développée dans ces économies : transport, stockage, capacités industrielles de transformation, mais aussi services de santé, d'éducation et de formation... Les investissements nécessaires ont été rendus possibles par l'amélioration des revenus en zone rurale, elle-même résultant du développement de l'emploi, d'une meilleure répartition de la valeur ajoutée le long des filières, de la mutualisation des moyens sous des formes diverses de coopération. Toutefois, 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 a été une des réponses, à la fin des années 2010, à la multiplication des périodes de crises alimentaires qui menaçaient la stabilité sociale et politique.

Grâce à l'essor des opportunités de création de richesse dans les zones rurales, l'exode rural dans les économies en développement s'est notablement ralenti. Pourtant, l'urbanisation s'est poursuivie et a parfois continué à empiéter sur les meilleures terres agricoles, malgré le développement des filières agricoles et agroalimentaires dans les zones périurbaines, voire urbaines, et les efforts de

densification des villes dans les pays qualifiés d'émergents en 2000 (Chine, Inde, Brésil, notamment). Ces efforts ont pris la forme de politiques volontaristes d'aménagement du territoire pour limiter l'artificialisation des terres et faire face à la crise énergétique des années 2020.

En 2050, les échanges de biens alimentaires sont régulés par l'Organisation des Nations Unies pour la Sécurité Alimentaire (UNOFS). Son objectif premier est de garantir la sécurité alimentaire. A cette fin, les règles mises en œuvre visent à éviter les distorsions de concurrence, mais comportent de fortes exceptions (a) pour permettre aux agricultures les moins productives de développer un marché local et (b) pour tenir compte des enjeux environnementaux. En outre, cette organisation doit assurer une gestion des stocks et des échanges qui protège les pays très dépendants des importations agricoles contre des menaces sur leur approvisionnement. La baisse tendancielle des prix réels agricoles, caractéristique du XX^{ème} siècle, a pris fin avec la forte pression démographique, couplée au décollage économique des régions du Sud. Face à cette situation nouvelle, la régulation des marchés a donc également visé à éviter la volatilité des prix, très forte au début du siècle et pour une bonne part responsable des crises alimentaires.

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 technologiques plus génériques. 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 la recherche et la gestion des écosystèmes a été déterminante à cet égard. Des limites ont dû être mises à l'appropriation des résultats des recherches, pour préserver le caractère public de certaines avancées et la dynamique d'accumulation scientifique.

Les politiques de développement, inspirées des politiques de développement régional mises en œuvre dès la fin du XX^{ème} siècle au sein de l'Union européenne, ont contribué à la structuration de systèmes agricoles et alimentaires localisés et de filières, sous forme de clusters, intégrant la transformation, l'aval, et l'agrofourniture, mais aussi la recherche, la formation et le conseil. Dans les pays les plus riches, des financements publics ont été dégagés, non plus en appui à la production, mais en appui à la gestion des écosystèmes pour promouvoir la multifonctionnalité de l'agriculture et la rémunération des services environnementaux.

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 sur les opportunités de production distribuée et décentralisée de l'énergie, la valorisation des déchets et des coproduits. Le renchérissement du coût de l'énergie au début du siècle a conduit à rechercher des capacités d'autonomie des exploitations en matière énergétique. C'est dans ce cadre, intégré le plus possible à la production, que s'est développé l'essentiel de la production des agro-carburants dans le monde.

L'accélération du changement climatique au début du siècle a constitué une incitation déterminante au basculement technologique de l'agriculture. Les technologies d'intensification écologique ont en effet permis de minimiser les impacts environnementaux des pratiques agricoles notamment sur l'eau, la biodiversité ou les sols, mais aussi de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de rendre la production plus robuste aux aléas notamment grâce à la réintroduction d'une plus grande biodiversité domestique. Néanmoins, la demande de production alimentaire et les prix élevés ont constitué une pression pour la conversion des espaces naturels et semi-naturels si bien que 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. La préservation de la biodiversité a donc été de pair avec une capacité à innover et à développer 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 agro-forestiers 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.

En 2050, les régimes alimentaires des différentes régions du monde ont convergé en matière d'apport calorifique, pour se situer dans chaque région aux alentours de 3000 kcal/hab./jour en disponibilité

moyenne. Toutefois, des spécificités culturelles ont maintenu une certaine diversité dans la répartition des 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 de la consommation alimentaire a d'abord reposé sur le développement économique, elle a aussi tenu à des changements de comportements dans la plupart des régions. Ainsi, par exemple, dans une région comme l'OCDE-1990, la consommation calorique moyenne est passée de près de 4000 à 3000 kcal/hab./jour. Cette véritable rupture de tendance a été permise par une diminution des pertes chez l'utilisateur ou dans les systèmes de restauration, mais aussi par une plus grande efficacité des politiques nutritionnelles. Le maintien d'une certaine diversité des régimes alimentaires a aussi contribué à résoudre les problèmes de carence en micronutriments, notamment grâce aux apports des fruits et légumes. 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 riches, 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.

Entre 2000 et 2050, le modèle agro-industriel, initialement nettement dominant, s'est hybridé avec des formes plus localisées de systèmes agricoles et alimentaires, reposant 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. La tendance à la standardisation, l'internationalisation et la concentration autour d'un nombre réduit de firmes multinationales s'est donc plutôt infléchie. Cette inflexion a en outre été facilitée par les stratégies nationales et régionales mises en place pour assurer la sécurité alimentaire mais aussi par l'impact important de la RSE (responsabilité sociale des entreprises) sur les stratégies des grandes firmes. Le secteur agro-alimentaire a été particulièrement touché par son essor car les consommateurs des pays riches se sont montrés de plus en plus concernés par les enjeux alimentaires du fait de la dissémination du concept d'alimentation durable et suite aux « émeutes de la faim ». Ils ont fait pression sur les firmes agro-alimentaires, souvent via les ONG et les associations de consommateurs, quant à leur rôle particulier dans le développement économique et la réduction de la malnutrition mais aussi dans la lutte contre l'obésité.

III. Regards prospectifs sur les comportements alimentaires, les options technologiques et les échanges

Après avoir construit deux scénarios illustrant la variété des évolutions possibles, il s'agit maintenant d'aborder de manière synthétique la question suivante : quelles évolutions sont possibles, nécessaires, souhaitables ? L'exploration prospective présentée ne permet en effet généralement pas de répondre de manière univoque à ces questions. En revanche, elle permet de structurer et d'apporter des arguments pour discuter des options les plus souhaitables, des options nécessaires ou des options les plus réalisables. Les scénarios invitent ainsi à la discussion sur les évolutions futures et peuvent également soulever de nouvelles questions, qui pourront faire l'objet d'approfondissements. A ce titre, cette dernière partie constitue une ouverture et propose, à partir de quelques points d'entrée majeurs, d'utiliser les scénarios pour structurer une discussion sur l'avenir des systèmes agricoles et alimentaires. Pour tirer les enseignements de l'analyse prospective réalisée et de la confrontation des deux visions de l'avenir sous-tendues par les scénarios Agrimonde GO et Agrimonde 1, cette partie présente donc, sur trois points principaux (comportements alimentaires, options technologiques, échanges et régulations), une lecture possible des scénarios présentés précédemment. Cette lecture ne correspond pas nécessairement à un consensus du groupe de travail ; ces regards portés sur les scénarios mettent en évidence de quelle manière l'exploration des scénarios renouvelle le débat ou soulève de nouvelles interrogations.

III.1 Les comportements alimentaires en question : les ruptures envisagées sont-elles plausibles ?

Le jeu d'hypothèses sur les régimes alimentaires retenu dans le scénario Agrimonde 1 repose beaucoup sur deux types de rupture des tendances. Ce scénario suppose, d'une part, que le niveau moyen de disponibilités pour la consommation alimentaire, mesuré en kilocalories, baisse dans les pays riches, sans que cela soit dû à une baisse du niveau moyen de revenu par tête. D'autre part, il

suppose que, malgré l'augmentation du niveau moyen de revenu par tête, elle augmente de façon modérée dans les pays émergents de sorte que la transition nutritionnelle ne se traduise pas par un risque accru d'épidémie d'obésité, comme c'est le cas dans le scénario Agrimonde GO.

Lorsque les revenus et l'offre le permettent, l'évolution de la consommation alimentaire se caractérise par trois phases⁵¹ : 1) une phase de croissance quantitative de la consommation de tous les aliments jusqu'à un niveau de saturation calorique, 2) une phase d'évolution qualitative centrée sur la structure de la ration : la transition nutritionnelle, 3) une phase marquée par une stationnarité de la structure macro-nutritionnelle de la ration. Ainsi, la richesse des pays se traduit, à partir d'un certain seuil, par un plafonnement de la consommation alimentaire par personne. Cette non-linéarité de la fonction qui lie la consommation aux revenus peut se trouver accentuée par d'autres facteurs : le vieillissement de la population⁵², sachant que les besoins en calories des personnes âgées sont légèrement moindres que ceux d'une population adulte ou en croissance, et aussi la stabilité de certains régimes alimentaires malgré l'enrichissement des ménages, le Japon en étant un exemple typique.

La transformation des comportements alimentaires dans le sens du jeu d'hypothèses d'Agrimonde 1 pourrait également reposer sur d'autres ruptures comme la réduction du volume des pertes à la consommation ainsi que la mise en place de nouvelles politiques nutritionnelles.

En effet, 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 imaginer que certaines évolutions comportementales, bien qu'encore assez marginales aujourd'hui, se généralisent d'ici à 2050. Depuis quelques années, une prise de conscience individuelle et collective des conséquences parfois néfastes des actes de chacun dans la vie quotidienne sur la santé et l'environnement émerge lentement. Une attitude davantage responsable, se traduisant par des comportements plus durables est encouragée par des acteurs de la société civile comme par les pouvoirs publics qui tentent de sensibiliser les citoyens.

Enfin, 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. En 2005, 1,3 milliards d'adultes dans le monde étaient en surpoids, dont 400 millions d'obèses⁵³. Si les tendances récentes se poursuivent, en 2030 ces chiffres pourraient atteindre 3 milliards et 1 milliard respectivement⁵⁴. 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 aussi est parvenue à ses fins. Or, Les interventions publiques dans les pays développés, peu nombreuses jusqu'à aujourd'hui, 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. 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 ce qui est susceptible de les infléchir.

III.2 Options pour l'intensification écologique

La notion d'intensification écologique recouvre aujourd'hui 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 recouvrent, comme dans d'autres domaines que l'agriculture, des options sociales, économiques, spatiales, politiques qui ne sont pas anodines et n'ont probablement pas encore été suffisamment explorées. On connaît par contre assez bien les options qui ont accompagné le processus de rationalisation ('modernisation') des agricultures nord-américaines et européennes,

⁵¹ Duquesne B., Matendo S., et Lebailly P., 2006, « Profiling Food Consumption : Comparaison between USA and EU », USDA and AIEA2 International Meeting, *Competitiveness in Agriculture and in the Food Industry : US and EU Perspectives*, Bologna, 15-16 Juin ; Combris P., 2007, « Croissance économique et alimentation : peut-on maîtriser les évolutions à long terme ? », *Communication à l'Académie d'Agriculture de France*, séance du 14 février 2007.

⁵² Les personnes de plus de 60 ans représenteront 21% de la population mondiale en 2050 alors qu'elles en représentaient 10 % en 2000 (ONU, 2006, *World Population prospects: The 2006 Revision Population Database*).

⁵³ Site internet de l'OMS : www.who.int.

⁵⁴ Kelly T., Yang W., Chen C-S., Reynolds K. and He J., 2008, « Global Burden of Obesity in 2005 and Projections to 2030 », *International Journal of Obesity*, 32(9).

puisque leurs effets sont désormais connus. Cette connaissance nous permet de clarifier quelles sont les conditions qui doivent accompagner le choix de telle ou telle option.

De l'intensification écologique en tant qu'option technique...

Tout d'abord, revenons à l'intensification écologique, proprement dite⁵⁵, en tant qu'option technique qui se conçoit, comme une alternative au développement tendanciel d'une agriculture reposant sur la substitution du capital au travail grâce à la mécanisation et à un usage important d'énergie, ainsi que sur une certaine artificialisation des conditions de production visant à se dégager des contraintes des processus naturels par l'apport d'intrants manufacturés (fertilisants, phytosanitaires, aliments du bétail, etc.), 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 processus 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 (associations et successions culturales raisonnées, nouvelles techniques de travail du sol), une lutte contre les ravageurs par la protection intégrée (utilisation d'auxiliaires des cultures, mélanges d'espèces et de variétés, organisation des parcelles, successions végétales, etc.), une meilleure résistance aux maladies, en s'appuyant sur des populations diversifiées, 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 pour ceux qui la prônent de revenir à une agriculture archaïque, mais au contraire de s'appuyer 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 micro-locales, 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 de rendements à atteindre, en deçà desquels de telles orientations resteront utopiques...

... à 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. 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. 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.

On peut distinguer ainsi un premier modèle, qualifié de 'ségrégonniste', séparant ce qui peut être cultivé, de ce qui ne doit pas l'être du point de vue de la protection de l'environnement, dans lequel il s'agira néanmoins de gérer des processus 'naturels'. Cette situation est bien illustrée dans le scénario Agrimonde GO pour la région latino-américaine où une stabilisation des surfaces forestières est compensée par des gains de rendements élevés sur les espaces cultivés. Dans la région OCDE-1990, Agrimonde 1 présente une version plus nuancée de ce modèle, les possibilités réduites d'intensification des cultures conduisant au grignotage des surfaces pâturées.

Cette variante de l'intensification écologique sur l'espace productif traditionnel, appelle des innovations 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. 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, justifiée par les services que rendent les écosystèmes concernés à l'humanité...

⁵⁵ Sur la base de l'ouvrage de Michel Griffon, *Nourrir la planète*, qui donne une illustration d'un scénario d'intensification écologique (Griffon M., 2006, *Nourrir la planète – Pour une révolution doublement verte*, Odile Jacob).

Si les critères d'évaluation des performances restent ceux habituellement pratiqués (rendements, gains de poids, productivité du travail, etc.), même sous certaines contraintes environnementales, ils favoriseront les exploitations qui appliqueront les technologies prônées de la manière la plus performante, qui disposeront de moyens d'investissements significatifs et d'un encadrement technique approprié. Dans ce type de modèle, on distingue habituellement des exploitations dites 'commerciales' ayant atteint une dimension suffisante pour être performantes, des exploitations 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' !

D'un autre point de vue, combiner les fonctions écologiques et productives des agro-écosystèmes sur un même territoire, relève d'un modèle que l'on peut qualifier 'd'intégrationniste'. Il repose sur la combinaison, dans le même territoire, de différents types de systèmes de production, adaptés aux 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 de différentes exploitations, plus ou moins imbriquées (voir le mode d'intensification écologique dans le scénario Agrimonde 1 pour les régions Afrique du Nord – Moyen Orient, Afrique subsaharienne, Amérique latine et Asie).

Les critères de performance de l'activité agricole ne se limiteraient plus à des indicateurs technico-économiques, mais s'étendraient à 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 qualité des sols tout autant que des productions commercialisables. Dans un tel schéma, les 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 caricaturer, 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 agro-forestiers ; en Asie les zones humides ne sont pas toutes drainées, mais sont 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 ; 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 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 ; c'est alors le territoire et les ménages qui sont multifonctionnels, l'agriculture proprement-dite ne représentant qu'une seule de ces fonctions...

Intensification écologique, critères de performance et (ir)réversibilité des choix

En ce sens, le scénario Agrimonde 1 intègre un renversement de point de vue sur la multifonctionnalité de l'agriculture, telle qu'elle est relevée comme essentielle, tant par les recommandations de l'IAASTD que par le rapport de la Banque Mondiale 2008⁵⁶ dédié aux questions agricoles. Une des premières tâches pour lui donner sens consisterait à produire des critères de performances susceptibles d'évaluer la réalisation de ces différentes fonctions, 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 qui viennent d'être évoqués se complètent plus qu'ils ne sont censés s'aligner sur un modèle unique... Enfin, dans les deux cas, 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 passés tant ils sont intégrés, non seulement dans les solutions techniques actuelles (mécanisation, engrais, pesticides, génétique, etc.) mais aussi dans les systèmes cognitifs (savoirs et savoir-faire, représentations de la nature, des nuisances, des paysages, etc.) et de valeurs des principaux acteurs impliqués. Ne sommes-nous pas pris au piège de la rationalisation

⁵⁶ Banque mondiale, 2008, *Rapport sur le développement dans le monde, L'Agriculture au service du développement*.

technique, sorte de *lock in*, ainsi que l'ont connu d'autres secteurs d'activité... sauf qu'on ne peut pas se passer d'agriculture !

III.3 Echanges et agriculture durable : quelles régulations ?

Un des résultats les plus importants de l'exercice Agrimonde est probablement la nécessité du développement accéléré des échanges internationaux des produits agricoles et alimentaires au cours des prochaines décennies. Les transferts envisagés lors des équilibrages entre ressources et emplois de calories alimentaires ne sont pas une projection directe du volume des échanges internationaux impliqués par les différents scénarios envisagés. Cependant un bon indicateur agrégé des échanges nécessaires pour assurer la satisfaction des besoins est fourni par la somme des déficits régionaux en calories végétales.

Malgré certaines limites⁵⁷, on remarquera que le déficit cumulé des régions déficitaires dans le scénario Agrimonde 1 est de 9 415 Gkcal/j alors qu'il n'est que de 4 399 Gkcal dans Agrimonde GO (cf. tableau 6). Pourtant, Agrimonde GO est un scénario supposé représenter un monde ouvert reposant sur la croissance du commerce international alors que le scénario Agrimonde 1 se veut davantage préoccupé par le souci d'un développement durable à long terme. Ce même indicateur souligne également une forte croissance des échanges internationaux puisqu'en 2003 il était d'un ordre de grandeur d'environ 1 400 Gkcal⁵⁸.

Ainsi, alors que le scénario Agrimonde 1 a été construit sur une base volontariste quant à l'estimation des besoins alimentaires et quant à la protection de l'environnement (notamment dans le choix des hypothèses de surfaces et de rendements), il implique une forte croissance des échanges interrégionaux et donc internationaux. Il faut bien sûr s'interroger sur la vraisemblance de ces hypothèses : les hypothèses basses de rendements retenues dans le scénario Agrimonde 1 dans les régions déficitaires sont relativement faibles (inférieures au prolongement de la tendance passée), tandis que les hypothèses de consommation, notamment en calories animales sont élevées⁵⁹. Cependant le résultat de la nécessité d'une croissance des échanges internationaux paraît robuste, comme l'indique la comparaison avec le scénario Agrimonde GO, et avec d'autres travaux de prospective ou de projection.

Quelles régulations des échanges commerciaux peuvent-elles permettre cette croissance nécessaire des échanges internationaux ? Il n'est pas possible d'apporter une réponse précise à cette question. Cependant, il semble clair qu'une forte poussée de 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 eu intérêt à une conclusion positive du cycle de Doha. Ce qu'il importe de souligner ici, c'est la nécessité d'une croissance des importations des régions déficitaires et le danger de tout dogmatisme idéologique en matière de régulation des échanges internationaux. En outre, il faut être conscient de la nécessité de régulations internationales concernant l'environnement, tout particulièrement la lutte contre le réchauffement climatique. L'articulation entre régulations environnementales et régulations commerciales sera donc nécessaire. Implicitement, les hypothèses du scénario Agrimonde 1 supposent une telle articulation. Mais on sait qu'il s'agit là d'un chantier difficile qui ne fait que commencer, comme l'illustre la décision prise à la récente conférence de Poznan d'inclure les changements dans l'utilisation des terres, tout particulièrement les actions de protection des forêts, dans le futur accord faisant suite au Protocole de Kyoto, alors que les modalités de cette prise en compte sont loin d'être claires.

⁵⁷ La somme des déficits régionaux n'inclut pas les déficits liés aux échanges intrarégionaux et ne tient pas compte non plus du fait que certains pays sont exportateurs nets de produits végétaux et importateurs nets de produits animaux ou vice-versa.

⁵⁸ Les chiffres du bilan 2003 ne sont cependant pas directement comparables à ceux des scénarios 2050 puisqu'ils concernent à la fois des produits animaux et végétaux et incluent aussi des exportations et importations simultanées des uns et des autres par une même région, ce qui n'est pas le cas des chiffres issus des scénarios 2050. Il y a donc sous-estimation des besoins d'accroissement d'importations des régions déficitaires lorsqu'on compare les bilans des scénarios 2050 au bilan 2003.

⁵⁹ Particulièrement en Afrique subsaharienne où elles sont mêmes plus élevées que dans Agrimonde GO.

Quelques pistes d'approfondissement

Au cours de l'exploration prospective des deux scénarios, un certain nombre d'hypothèses n'ont pas été explorées de manière approfondie, mais l'analyse a cependant révélé des pistes d'approfondissement particulièrement importantes.

L'impact du changement climatique sur les potentiels cultivables et les rendements futurs n'a pour l'instant été prise en compte que de manière qualitative, conduisant notamment à anticiper que la croissance des rendements pourrait être moins importante qu'un certain nombre d'autres travaux ne le proposent. Des études sont en cours pour quantifier le potentiel cultivable futur sous contrainte climatique, selon différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre, qui pourront être utilisés dans le module quantitatif. De manière plus générale, il faudra s'intéresser à l'articulation entre l'impact du changement climatique dans les différentes régions et les différentes trajectoires de progrès technologiques.

Le module quantitatif permettra également d'autres travaux d'approfondissement sur des thèmes importants pour l'avenir des systèmes agricoles et alimentaires : en particulier, les évolutions passées et les hypothèses futures concernant la productivité du travail pourraient être reliées aux technologies employées et à leur consommation d'énergie, à la démographie des espaces ruraux, pour constituer un test de cohérence supplémentaire des scénarios considérés. L'impact des scénarios en matière de ressource en eau et l'autonomie énergétique des systèmes agricoles pourraient également faire l'objet d'une analyse quantitative. Enfin, les pistes ouvertes grâce à l'élaboration des fonctions de productions animales permettraient de formuler des hypothèses plus précises sur les caractéristiques futures des systèmes d'élevage, et de tester des hypothèses différenciées sur les échanges internationaux de produits animaux et de concentrés pour l'alimentation animale : dans une région déficitaire en produits animaux, vaut-il mieux importer directement des produits animaux, ou bien importer du concentré végétal pour compléter la production animale locale ?

D'autres questions et enjeux prioritaires sont apparus au cours de cette exploration prospective, et pourraient conduire à de nouvelles questions de recherche. Parmi ceux-ci, la possibilité que l'aquaculture marine soit à l'avenir une source importante de biomasse alimentaire et énergétique repose sur un certain nombre de conditions qu'il faudrait explorer (possibilités de domestication, conflits d'usages en mer, alimentation animale, impacts environnementaux). De plus, il faudrait explorer à quelles conditions pourraient se développer des scénarios où des filières d'utilisation non alimentaire de la biomasse agricole, émergentes ou bien encore non existantes aujourd'hui, prendraient une ampleur importante, hypothèses qui n'ont pas été retenues dans les deux scénarios présentés ici. Enfin, il est apparu que dans plusieurs régions et sous des impulsions diverses, pourraient être amenées à se développer ou à émerger des formes d'agriculture en ville ou en zone périurbaine, qu'il conviendrait d'étudier dans leur diversité.

Prospective Agrimonde®

Cette prospective explore les futurs possibles des agricultures et alimentations du monde en 2050. Elle cherche à déceler les questions fondamentales auxquelles la recherche agronomique sera confrontée afin de fournir au CIRAD et à l'INRA les moyens d'anticiper et de préparer l'avenir en termes de dispositif et d'orientation de la recherche publique, comme en termes de positionnement stratégique au niveau international.

Le dispositif

Le projet a été mené par un collectif, qui a réuni, pour une vingtaine d'ateliers de réflexion de juin 2006 à décembre 2008, un groupe de travail et une équipe projet.

Groupe de travail

Bernard Bachelier, Fondation FARM
Danielle Barret, CIRAD
Pierre-Marie Bosc, CIRAD
Jacques Brossier, GIP IFRAI
Jean-Pierre Butault, INRA
Marie de Lattre-Gasquet,
CIRAD, Agence Nationale de la Recherche
Jean-Christophe Debar, Pluriagri
Francis Delpeuch, IRD
Fabrice Dreyfus, SupAgro Montpellier
Gérard Gherzi, Maison des Sciences de l'Homme
de Montpellier
Michel Griffon, CIRAD
Christian Hoste, CIRAD
Bernard Hubert, GIP IFRAI
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

Comité de pilotage

Patrick Caron, CIRAD
Catherine Esnouf, INRA
Hervé Guyomard, INRA
Bernard Hubert, GIP IFRAI
Alain Weil, CIRAD

Équipe projet

Sébastien Treyer, ENGREF, AgroParisTech (Chef de projet)
Maryse Aoudaï, INRA
Rémi Barré, INRA et CNAM
Jean-Marc Chaumet, INRA
Bruno Dorin, CIRAD
Isabelle Karcher, INRA
Tristan Le Cotty, CIRAD
Sandrine Paillard, INRA
Laurent Parrot, CIRAD
Tévécia Ronzon, INRA

Le rapport Agrimonde® 2006-2008 dont la synthèse est proposée dans ce document a été rédigé par Jean-Marc Chaumet, Francis Delpeuch, Bruno Dorin, Gérard Gherzi, Bernard Hubert, Tristan Le Cotty, Sandrine Paillard, Michel Petit, Jean-Louis Rastoin, Tévécia Ronzon, Sébastien Treyer



INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

147, rue de l'Université • 75338 Paris cedex 07
Tél : + 33(0)1 42 75 90 00 • Fax : + 33(0)1 47 05 99 66
www.inra.fr



LA RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT

42, rue Scheffer • 75116 Paris
Tél : + 33(0)1 53 70 20 00 • Fax : + 33(0)1 47 55 15 30
www.cirad.fr