

TERRES CULTIVABLES ET TERRES CULTIVÉES : APPORTS DE L'ANALYSE CROISÉE DE TROIS BASES DE DONNÉES À L'ÉCHELLE MONDIALE

Laurence ROUDART

Professeur de Développement agricole à l'Université Libre de Bruxelles

Avertissement

Cet article est l'un des produits d'une étude commanditée par le service Statistique et Prospective du Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche (programme 215, action 2, sous-action 22), pour le compte du Conseil stratégique d'une agriculture et d'une agro-industrie durables (CSAAD) placé auprès du Ministre de l'Agriculture et de la Pêche. Dans un contexte de hausse des prix et de crises alimentaires, « d'appropriations » internationales de terres agricoles, d'urbanisation, de changement climatique et d'alertes fréquentes sur la dégradation ou la pénurie de terres agricoles, ce Conseil a en effet jugé nécessaire de faire réaliser une étude ayant pour objectifs : 1- d'identifier les bases de données existantes sur les différentes catégories de terres à usage agricole possible (cultures, pâturages...) dans le monde, que ces terres soient effectivement utilisées ou non ; 2- d'analyser et de comparer ces bases de données ; 3- d'en tirer une représentation, avec des fourchettes d'évaluation quantifiées, des disponibilités globales et régionales en différentes catégories de terres, ainsi que de leurs possibilités de variation à terme.

Cette étude a été dirigée par Laurence Roudart. Elle a bénéficié de l'appui scientifique et technique de Madame et Messieurs Frédéric Courleux, Maurice Desriers, Bruno Dorin, Marie-Aude Even, Bruno Hérault, Philippe Laganier, Marcel Mazoyer, Michel-Paul Morel, Philippe Pipraud, Hugo Valin et Julien Vert. Les informations sur les bases de données pertinentes ont été rassemblées par Virginie Pinson et ont donné matière à un rapport.

Le présent document s'inscrit dans le cadre de l'étude n° 8 financée par le ministère de l'Agriculture et de la Pêche sur le programme 215, action 2, sous action 22. Son contenu n'engage que la responsabilité de ses auteurs.

Résumé

Cet article analyse trois bases de données relatives à l'étendue des terres à usage agricole, que cet usage soit effectif ou potentiel, dans le monde et dans les grandes régions : il s'agit des bases FAOSTAT, de l'étude GAEZ et du SAGE, cette dernière base étant reprise dans celle de GTAP. Malgré leurs différences et leurs incertitudes inévitables, ces bases indiquent que les superficies de terres utilisables en culture pluviale (sans besoin d'irriguer) et non encore cultivées sont très étendues à l'échelle du monde, de plusieurs grandes régions et de nombreux pays, en particulier en Amérique du Sud et en Afrique sub-saharienne. En revanche, cette ressource apparaît rare, voire épuisée, au Moyen-Orient et en Asie. Le développement de l'irrigation permettrait d'étendre les superficies cultivables en céréales dans plusieurs régions où cette ressource est rare, notamment en Asie centrale et au Moyen-Orient. Le réchauffement climatique entraînerait probablement un accroissement, modeste, des superficies cultivables du monde, mais une diminution dans les pays en développement, notamment en Asie du Sud et du Sud-Est où cette ressource est déjà rare. A l'échelle du monde, les superficies des terres utilisables en culture pluviale sont largement supérieures aux superficies nécessaires pour assurer tout à la fois des conditions de sécurité alimentaire satisfaisantes pour l'ensemble de l'humanité et un certain développement des cultures pour les agrocarburants. Cette conclusion reste vraie même en se plaçant dans l'hypothèse d'une très faible croissance des rendements des cultures, selon un scénario de révolution doublement verte durable, et même en excluant de la mise en culture toutes les forêts et toutes les zones actuellement protégées. La valorisation durable de ces ressources en terres cultivables requiert des politiques publiques appropriées de prix agricoles, d'accès à la terre et de recherche-développement orientées vers les besoins et les possibilités des producteurs pauvres.

Table des matières

<u>1 ANALYSE ET COMPARAISON DES PRINCIPALES BASES DE DONNÉES EXISTANTES.....</u>	<u>4</u>
<u>1.1 LA BASE DE DONNÉES FAOSTAT.....</u>	<u>5</u>
<u>1.2 LA BASE DE DONNÉES DE L'ÉTUDE GAEZ.....</u>	<u>6</u>
1.2.1 Contenu.....	6
1.2.2 Méthode	7
1.2.3 Réflexion sur la méthode.....	10
<u>1.3 LES BASES DE DONNÉES DU SAGE ET DE GTAP.....</u>	<u>11</u>
1.3.1 Données sur les superficies cultivées ou en pâturages.....	12
1.3.2 Données sur les terres cultivables.....	13
<u>2 TERRES CULTIVÉES ET TERRES CULTIVABLES.....</u>	<u>17</u>
<u>2.1 USAGES, AGRICOLES ET AUTRES, DES TERRES.....</u>	<u>17</u>
2.1.1 Les grands types de couvertures ou d'usages des terres d'après le SAGE et GTAP.....	17
2.1.2 Comparaison des estimations des superficies de terres cultivées par la FAO et par le SAGE.	18
2.1.3 Comparaison des estimations des superficies en pâturages permanents par la FAO et par le SAGE.....	19
<u>2.2 TERRES CULTIVABLES D'APRÈS L'ÉTUDE GAEZ, COMPARAISON AVEC LES ESTIMATIONS DU SAGE.....</u>	<u>20</u>
2.2.1 Contraintes à la mise en culture d'après l'étude GAEZ.....	20
2.2.2 Différents niveaux d'aptitude à la culture et couvert forestier d'après l'étude GAEZ.....	21
2.2.3 Comparaison avec les estimations du SAGE.....	23
<u>2.3 COMPARAISON DES SUPERFICIES DE TERRES CULTIVABLES ET DE TERRES CULTIVÉES.....</u>	<u>24</u>
2.3.1 D'après l'étude GAEZ et la FAO.....	24
2.3.2 D'après le SAGE.....	26
<u>2.4 TROIS HYPOTHÈSES SUR LES POSSIBILITÉS D'EXTENSION DES SUPERFICIES CULTIVÉES.....</u>	<u>27</u>
<u>3 EVOLUTIONS POSSIBLES DES TERRES CULTIVABLES.....</u>	<u>31</u>
<u>3.1 EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....</u>	<u>32</u>
3.1.1 D'après l'étude GAEZ.....	32
3.1.2 D'après le SAGE.....	34
<u>3.2 EFFETS DE L'IRRIGATION.....</u>	<u>35</u>
<u>4 LIMITES DE L'ÉTUDE ET VOIES D'APPROFONDISSEMENT.....</u>	<u>36</u>
<u>5 ENSEIGNEMENTS POUR LA PROSPECTIVE ET LES POLITIQUES PUBLIQUES.....</u>	<u>38</u>
<u>5.1 PROSPECTIVE RELATIVE À L'AGRICULTURE, À L'ALIMENTATION ET AUX AGROCARBURANTS.....</u>	<u>38</u>
<u>5.2 POLITIQUES PUBLIQUES.....</u>	<u>41</u>

Introduction

La récente hausse des prix des produits agricoles et la forte médiatisation de certaines pénuries alimentaires ont redonné une certaine audience aux analyses de David Ricardo et de Thomas Robert Malthus sur les relations entre la population humaine, l'activité de production agricole et la Nature. En vertu du principe de population – selon lequel les besoins alimentaires de toute population humaine tendent, du fait de la croissance démographique, à augmenter plus vite que les ressources alimentaires à sa disposition – et de la loi des rendements décroissants, D. Ricardo et T. Malthus s'accordaient en effet à prévoir, sur le long terme, une hausse des prix agricoles et, partant, une augmentation de la rente et du salaire, une baisse du profit, toutes tendances qui, inéluctablement, devaient aboutir à « l'état stationnaire ». Ainsi conçue, l'activité agricole se heurte aux limites d'une Nature avaricieuse qui, par contrecoup, borne l'accumulation du capital, les activités humaines et la population. Dans cet esprit, le concept de capacité de charge humaine a été développé par différents auteurs parmi lesquels des tenants de l'Economie écologique, selon qui l'économie humaine fait partie d'un système social lui-même sous contrainte du système biophysique de la planète, certains actifs naturels ne sont pas substituables par du capital d'origine humaine, et la taille maximale de l'économie des biens matériels est une question essentielle (K. Boulding, N. Georgescu-Roegen, H. Daly, R. Passet...).

Cet article se propose d'éclairer la question de savoir si les ressources en terres cultivables de la planète sont aujourd'hui une ressource rare, susceptible de limiter la production agricole et, en conséquence, la population humaine et ses activités. Pour ce faire, nous étudierons d'abord les principales bases de données existant sur les terres cultivables et les terres cultivées dans le monde et les grandes régions. Nous analyserons ensuite leurs résultats relatifs à la situation contemporaine et aux évolutions possibles des superficies cultivables en fonction du changement climatique et du développement de l'irrigation. Puis, après avoir présenté les limites de cette étude et des voies d'approfondissement, nous envisagerons les enseignements qu'il est possible d'en tirer en matière de prospective agricole et alimentaire, de développement des cultures pour agrocarburants et de politiques publiques.

1 Analyse et comparaison des principales bases de données existantes

Il existe trois grands types de bases de données sur les usages agricoles, réels ou potentiels, des terres à l'échelle mondiale : des bases statistiques, des bases d'images relatives à la couverture et/ou à l'usage des terres issues de données satellitaires, et des bases qui combinent à la fois des données statistiques et des données d'origine satellitaire. La distinction entre *couverture* et *usage* des terres est importante : la couverture fait référence aux éléments biotiques ou abiotiques présents à la

surface de la terre, avec trois catégories principales : végétation, infrastructures humaines, surfaces nues (roche, sol, eau...) ; l'usage fait référence aux activités que les humains entreprennent afin d'en tirer des avantages matériels ou immatériels. La couverture des terres peut être déterminée par télédétection, alors que l'identification de leur usage nécessite des informations d'origine locale. Pour autant, beaucoup de bases de données utilisent des classifications qui mêlent couvertures et usages des terres.

Nous analyserons ici les trois bases de données les plus importantes et accessibles, à savoir la base de données statistiques de la FAO, FAOSTAT, et deux bases qui combinent des informations d'origines statistique et satellitaire : la base de l'étude *Global Agro-Ecological Zones* (GAEZ) de l'*International Institute for Applied Systems Analysis* (IIASA) et de la FAO ; la base du *Center for Sustainability And the Global Environment* (SAGE) de l'Université du Wisconsin, qui est reprise dans certains travaux du *Global Trade Analysis Project* (GTAP).

1.1 La base de données FAOSTAT

La base FAOSTAT comporte une rubrique de statistiques internationales sur les ressources en terres (<http://faostat.fao.org/site/377/default.aspx#anchor>)¹ dans laquelle sont disponibles, entre autres, les données suivantes : superficie des terres, superficie agricole, terres arables, cultures permanentes, prairies et pâturages permanents, cultures temporaires, prairies et pâturages temporaires, jachères temporaires, superficie cultivée, superficie ensemencée, superficie récoltée, superficie forestière. Les définitions de ces différentes catégories figurent en annexe 1. Ces données compilées et mises en cohérence par la FAO sont issues de sources statistiques nationales, ou d'autres sources officielles nationales, ou d'autres statistiques internationales, ou de réponses officielles à des questionnaires transmis par la FAO, ou de sources semi-officielles, ou encore d'estimations par des experts de la FAO. Elles devraient être disponibles pour 228 pays, pour divers groupes de pays et pour toutes les années depuis 1961, mais elles comportent des lacunes assez nombreuses.

Outre les marges d'erreur habituelles, toute base statistique comporte des incertitudes qui proviennent de l'imprécision des définitions, ou de leur utilisation souple. Ainsi, comme on peut le constater dans l'annexe 1, les « prairies et pâturages permanents » sont définis comme étant les « terres recouvertes de façon permanente (cinq ans ou plus) de plantes fourragères herbacées, soit cultivées soit à l'état naturel (herbages naturels ou pâturages). » Il s'agit là d'une définition de

¹ La base FAOSTAT comporte de nombreuses autres rubriques, accessibles à l'adresse <http://faostat.fao.org/default.aspx>.

couverture, et non d'usage, des terres. Or, des terres ainsi recouvertes peuvent ne jamais servir de pâturages, ou n'en servir que de manière très épisodique (une fois en plusieurs années), ou très extensive comme dans le cas de certains parcours (un type d'usage qui n'apparaît pas dans les données de la FAO, non plus que dans les autres bases sur l'usage des terres à l'échelle mondiale). A l'inverse, des terres pâturées de temps en temps peuvent être versées dans la catégorie « superficie forestière » dès lors qu'elles ont « une superficie de plus de 0,5 hectare portant des arbres de plus de 5 mètres de haut avec un couvert forestier supérieur à 10 pour cent, ou des arbres capables d'atteindre ces critères in situ. » De vastes zones de savanes arborées peuvent ainsi être classées soit comme superficie forestière, soit comme pâturage permanent. L'ambiguïté de la définition des pâturages, qui n'est pas propre à la base FAOSTAT, est source de grandes divergences entre les bases de données.

Pour illustrer l'usage souple d'une définition imprécise, on peut prendre l'exemple des « jachères temporaires ». Celles-ci sont définies comme étant des « terres cultivées non ensemencées pendant une ou plusieurs saisons. La durée maximale de jachère est *habituellement* de moins de cinq ans. »² Malgré cela, les terres laissées en jachère plus de cinq ans dans le cadre de programmes de conservation des sols aux Etats-Unis par exemple sont comptabilisées dans cette catégorie.

Il reste que la base FAOSTAT est unique en son genre et d'une très grande utilité.

1.2 La base de données de l'étude GAEZ

L'étude GAEZ est le fruit d'une collaboration entre l'IIASA et la FAO, dans le cadre du projet *Land Use Change* (Fischer, van Velthuisen, Shah, Nachtergaele, 2002 ; <http://www.iiasa.ac.at/Research/LUC/GAEZ/home.htm>).

1.2.1 Contenu

Contrairement à FAOSTAT, l'étude GAEZ ne fournit pas d'informations sur les usages agricoles actuels ou passés des terres du monde, mais elle procure des données sur leurs *potentialités agricoles*. Plus précisément, elle évalue l'aptitude des terres du monde à la culture de 154 variétés végétales (cf annexe 2), ainsi que les rendements accessibles selon trois grands modes de gestion des cultures – « avancé », « amélioré », « traditionnel » – et selon que la culture est pluviale ou irriguée (cf annexe 3). Elle indique les superficies correspondantes, celles qui sont sous couvert

² C'est nous qui soulignons.

forestier, et signale aussi l'étendue des infrastructures. Ces résultats sont disponibles pour 158 pays, 22 régions (cf annexe 4) et 18 zones agro-écologiques (cf annexe 5). Les données sont relatives à la décennie quatre-vingts dix, sans plus de précision.

1.2.2 Méthode

Le schéma 1 présente la démarche utilisée dans cette étude. Elle consiste à comparer les besoins thermiques, hydriques et d'ensoleillement de 154 variétés de plantes cultivées avec les caractéristiques édaphiques (climat ; type, texture, composition chimique, profondeur et aptitude au drainage du sol ; altitude ; topographie ; couverture des terres) de 2,2 millions de cellules de 5 minutes de latitude et de longitude (soit des cellules d'une dizaine de kilomètres de côté à l'équateur) couvrant l'ensemble des terres de la planète. Pour ce faire, l'étude GAEZ mobilise plusieurs bases de données (cf schéma 1). Cette comparaison des besoins des plantes et des caractéristiques du milieu conduit à distinguer les zones non cultivables et les zones cultivables avec l'une au moins des 154 variétés considérées. Ces zones cultivables sont ensuite classées, pour chaque culture et chaque mode de gestion analysé, en cinq catégories d'aptitude à la culture selon le niveau de rendement qui y est effectivement accessible, compte tenu des risques, par rapport au meilleur rendement constaté (premier centile supérieur) dans la grande zone climatique correspondante (tropicale, subtropicale, tempérée, boréale) : les terres d'une cellule sont considérées comme *très convenables* si ce niveau de rendement accessible excède 80% du meilleur rendement constaté dans la zone, comme *convenables* s'il est compris entre 60% et 80%, comme *modérément convenables* s'il est compris entre 40% et 60%, comme *peu convenables* s'il est compris entre 20% et 40%, et comme *non convenables* s'il est inférieur à 20%. Ce classement est ensuite généralisé en combinant les trois modes de gestion des cultures et les 154 variétés considérées (Fischer et al., 2002 ; Batjes et al., 1997).

Schéma 1
Méthode de classement de l'aptitude des terres à la culture dans l'étude GAEZ

Caractéristiques et besoins thermiques, hydriques et d'ensoleillement de 154 variétés cultivées (longueur du jour, eau, nombre de jours où la température moyenne doit excéder 5°C pour permettre la croissance des plantes, cumul des températures)

Données climatiques sur le monde d'après la base de l'Université de *East Anglia*

Analyse pédo-climatique de chaque cellule de 5 minutes de latitude et de longitude : calculs de l'évapotranspiration potentielle, de l'évapotranspiration réelle, de la durée de la période végétative, caractérisation du régime thermique

Bases de données sur les terres* :

- **Types de sol**
d'après la Carte numérique des sols du monde (*Digital Soil Map of the World*), FAO/EC-JRC/ISRIC

- **Texture, composition chimique, profondeur et aptitude au drainage des sols**
d'après le *World Inventory of Soil Emission Potentials* (WISE) et l' *International Soil Reference and Information Centre* (ISRIC)

- **Altitude**
d'après la base de données altimétriques géoréférencées GTOPO30 (*Global 30 Arc Second Elevation Database*), *United States Geological Survey* (USGS)/*Earth Resources Observation Satellite* (EROS) *Data Center*

- **Topographie**

- **Couverture des terres**
d'après la *Global Land Cover Characterization Database* (GLCCD)

- **Limites administratives**

Comparaison des besoins des 154 variétés cultivées et des caractéristiques édaphiques de chaque cellule

Zones cultivables

Zones non cultivables

Calcul de la biomasse et du rendement maximum accessible (d'après un modèle écophysologique de la FAO), en l'absence de risques, pour trois modes de gestion des cultures : « avancé », « amélioré », « traditionnel »

Prise en compte des risques climatiques et parasitaires (stress hydrique, gel précoce ou tardif, prédateurs, maladies, adventices), et des autres risques (érosion, inondations...)

Calcul du rendement maximum accessible corrigé compte tenu des risques, pour trois modes de gestion des cultures

Comparaison avec le rendement maximum observé dans la grande zone climatique, et classement de la cellule dans une catégorie d'aptitude à la culture considérée, compte tenu du mode de gestion : très convenable, convenable, modérément convenable, peu convenable, non convenable

Classement de la cellule dans une catégorie d'aptitude à la culture, toutes cultures et tous modes de conduite combinés

* Seules sont signalées ici les bases de données sur les terres qui alimentent les résultats accessibles de l'étude GAEZ.

1.2.3 Réflexion sur la méthode

L'étude GAEZ est considérable, de par ses objectifs, sa conception, le volume de travail qu'elle représente et ses résultats. Ceux-ci, comme dans toute étude, sont conditionnés par la méthode utilisée. Or, la méthode GAEZ d'estimation des terres cultivables et des rendements accessibles relève d'une analyse essentiellement agro-écologique, qui ne prend pas, ou très peu, en considération les paramètres socio-économiques qui influencent l'offre ou la demande de produits agricoles sur un territoire donné, et qui influent donc sur la mise en culture des terres ainsi que sur ses modalités. Par exemple, la densité de population n'est pas prise en compte. Pour autant, certains éléments socio-économiques sont glissés dans l'analyse : de manière explicite quand trois grands modes de gestion des cultures sont envisagés pour calculer les rendements accessibles, mais de manière beaucoup plus implicite quand il s'agit d'établir les zones non convenables à la culture. Celles-ci en effet sont définies par un rendement accessible inférieur à 20% du meilleur rendement constaté dans la grande zone climatique correspondante. Or ce meilleur rendement dépend bel et bien des conditions socio-économiques de la production agricole. Un tel raisonnement conduit à considérer des terres ayant un rendement accessible de 0,6 tonne par hectare comme convenables dans une zone où le meilleur rendement constaté est de 3 tonnes par hectare, tandis que des terres ayant un rendement de 1 tonne par hectare dans une zone où le meilleur rendement constaté est de 6 tonnes seront considérées comme non convenables. Il s'agit là d'un biais qui pourrait être corrigé par des études techniques et économiques.

Par ailleurs, si l'étude GAEZ envisage bien la concurrence possible entre la culture des terres et leur utilisation pour porter des forêts ou des infrastructures, elle ne prend pas explicitement en considération³ d'autres usages alternatifs comme le pâturage, ou la non culture à des fins de préservation ou de conservation. Ainsi, l'étude précise quelles sont les superficies actuellement sous forêts pour les différentes catégories de terres cultivables. Pour ce qui est des infrastructures, elle s'en tient à une estimation des superficies nécessaires en fonction de la densité de population⁴, sans préciser les superficies des différentes catégories de terres qui sont déjà consacrées à cet usage. Les documents publiés n'indiquent pas non plus les superficies des différentes catégories de terres qui sont consacrées à des pâturages naturels, ou qui appartiennent à des zones protégées.

³ Tout au moins dans les publications accessibles.

⁴ Cette estimation est faite d'après les ordres de grandeur retenus par les Nations unies, à savoir : 0,1 hectare/habitant quand la densité de population est inférieure à 35 habitants/km², 0,05 hectare/habitant lorsque la densité est comprise entre 35 et 3 000 habitants/km², et 0,01 hectare/habitant lorsque la densité dépasse 3 000 habitants/km².

L'une des limites de l'étude GAEZ est qu'elle est essentiellement *statique* : mise à part l'irrigation des terres pas trop pentues, elle n'envisage pas d'autre évolution à terme des aptitudes des terres à la culture, qu'il s'agisse de dégradation – salinisation, lessivage, pollutions, baisse des nappes souterraines, désertification... – ou de bonification par divers types d'aménagement – terrassement, drainage, amendements organiques ou minéraux permettant de corriger les propriétés physiques et chimiques des sols...

Ainsi, l'étude GAEZ considère comme non utilisables en culture pluviale les terres dont la pente est supérieure à 30%, comme non irrigables par aspersion celles dont la pente excède 16%, et comme non irrigables par gravité celles dont la pente dépasse 8%. Or, dans de nombreuses régions, en Asie notamment, des terres plus pentues sont cultivées après avoir été aménagées en terrasses et irriguées le cas échéant. Cela contribue sans doute à expliquer que, d'après cette étude, le ratio Terres cultivées/Terres cultivables est actuellement de 190% en Asie du Sud hors Inde.

Ajoutons que la précision des résultats de l'étude GAEZ est bien sûr limitée par la précision des sources, en particulier celle de la *Carte numérique des sols du monde* et celle de la base de données climatiques.

En définitive, certains éléments de méthode de l'étude GAEZ tendent à *surestimer* l'étendue des terres cultivables de la planète : la dégradation parfois rapide de certains sols cultivés n'est pas envisagée ; les usages alternatifs incontournables des terres cultivables ne sont pas évalués ; les facteurs sociaux qui pèsent sur la mise en culture des terres, comme la densité de population, ne sont pas, ou quasiment pas, pris en compte. D'autres éléments au contraire vont dans le sens d'une *sous-estimation* : plusieurs types d'aménagements pouvant rendre cultivables des terres ne sont pas envisagés et, dès que le rendement accessible est relativement faible (moins de 20% du meilleur rendement constaté dans la grande zone climatique), les terres sont tenues pour non convenables à la culture.

1.3 Les bases de données du SAGE et de GTAP

La base du SAGE, qui est accessible sur le site de l'Université du Wisconsin (<http://www.sage.wisc.edu/iamdata/units.php>), a été mise en place principalement par Navin Ramankutty. Elle fournit des données sur les superficies cultivées, les superficies en pâturages et les autres usages ou couvertures des terres ; sur les superficies cultivables ; et sur la répartition des superficies cultivées en 19 types de cultures. Dans cet article, nous nous intéresserons aux données

sur les superficies cultivées, en pâturages ou cultivables, qui sont disponibles pour 2 605 unités administratives (Etats, provinces...) à travers le monde, et qui sont agrégables pour 160 pays, pour les macro-régions telles qu'elles sont définies par les Nations unies⁵, et pour 18 zones agro-écologiques (les mêmes que celles de l'étude GAEZ, cf annexe 4) en 1992.

Depuis plusieurs années, les travaux du SAGE sont repris et développés dans le cadre de GTAP, un consortium d'institutions et un réseau mondial de chercheurs travaillant dans le domaine de l'analyse des politiques et du commerce international, dont le siège est situé à l'Université de Purdue. L'un des axes de travail de GTAP est d'établir et d'améliorer une base de données sur l'usage des terres, de manière à pouvoir conduire des évaluations intégrées des effets de changements climatiques et des politiques liées à ces changements (https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=1900 ; Ramankutty, Hertel, Lee, 2005 ; Lee, Hertel et al., 2005). Cette base reprend les données du SAGE sur la couverture ou l'usage des terres, et elle comporte des données relativement détaillées sur les superficies, les rendements et les productions pour 175 cultures, par zone agro-écologique (les mêmes que celles de l'étude GAEZ) dans 226 pays ou territoires. Les données sur les cultures proviennent de la FAO et du SAGE ; quand il y a divergence entre ces deux sources, ce sont les données du SAGE qui sont retenues (Ramankutty et al., 2008 ; Monfreda et al., 2008). C'est pourquoi nous présentons ci-dessous les méthodes utilisées par le SAGE.

1.3.1 Données sur les superficies cultivées ou en pâturages

Le SAGE, qui adopte les définitions des « terres arables » et des « prairies et pâturages permanents » de la FAO (cf section 1.1), estime les superficies des unes et des autres en collationnant des données statistiques issues de FAOSTAT ou des pays ou des sous-régions, et en les combinant avec des données d'origine satellitaire sur la couverture des terres. En cas d'incohérence entre FAOSTAT et les sources nationales, ce sont ces dernières qui sont retenues. En particulier, les zones classées comme pâturages par la FAO, mais rapportées comme étant non pâturées par les sources nationales, sont soustraites de cette catégorie. Les informations sur la couverture des terres proviennent de deux bases de données d'origine satellitaire : *Global Land Cover 2000* (GLC 2000, qui a été améliorée techniquement et a depuis lors été nommée *Globcover*), qui utilise 22 classes de couverture des terres ; *Boston University's MODerate resolution Imaging Spectrometer* (BU-MODIS), qui utilise 17 classes. La superposition et la combinaison des données de ces deux bases conduit le SAGE à utiliser près de 400 classes de couverture des terres.

⁵ cf <http://www.un.org/depts/dhl/maplib/worldregions.htm>

Cette méthode, qui confronte de nombreuses sources statistiques entre elles ainsi qu'à des données d'origine satellitaire sur la couverture des terres, permet sans aucun doute de progresser dans la voie d'une représentation plus cohérente et plus réaliste des superficies de terres arables et de pâturages. Il est cependant difficile, voire impossible dans certains cas, d'harmoniser toutes ces données. Par exemple, les données d'origine satellitaire ont tendance à sous-estimer les superficies enherbées des berges et des bords de chemins, qui peuvent pourtant constituer des pâturages non négligeables pris en compte dans les statistiques locales. Autre exemple, les données satellitaires ne permettent pas de distinguer les forêts des plantations d'arbres ou arbustes à fruits ou à fleurs. Or ces plantations sont considérées par la FAO et par d'autres sources statistiques comme des cultures permanentes⁶.

La méthode du SAGE n'échappe pas non plus à certains des défauts dus à l'imprécision de la définition des pâturages, au point qu'une réflexion est actuellement menée sur l'opportunité de ne plus recourir à cette catégorie, et d'utiliser à la place des informations concernant la densité du bétail sur différents types de couvertures des terres⁷. Du reste, l'imprécision des définitions utilisées contribue sans doute à expliquer que, d'après le SAGE, il y a fort peu de terres à usage mixte, tout à la fois cultivées et pâturées.

1.3.2 Données sur les terres cultivables

Pour estimer la superficie des terres cultivables, la méthode du SAGE consiste à rassembler des données sur deux variables dépendant du climat – la somme des températures, le ratio Evapotranspiration réelle/Evapotranspiration potentielle – et sur deux variables dépendant du sol – la teneur en carbone et le pH. Ces données sont corrélées, pour une partie des zones cultivées, avec la proportion de la superficie qui est effectivement cultivée dans chaque cellule analysée. On peut en déduire, pour les zones non cultivées, un indice de potentiel pour la culture, qui est assimilable à la proportion de la zone qui pourrait être cultivée d'après les valeurs prises par les quatre variables pédo-climatiques considérées⁸.

Cette méthode d'estimation des terres cultivables par le SAGE diffère de celle de l'étude GAEZ sur plusieurs points importants : elle prend en compte moins de caractéristiques édaphiques des différents milieux, elle ne compare pas de manière théorique ces caractéristiques avec les besoins

⁶ FAOSTAT évalue à environ 3 940 millions d'hectares la superficie mondiale en forêts en 2006, et à quelque 140 millions d'hectares la superficie en cultures permanentes ($140/(3940 + 140) = 3,4\%$).

⁷ N. Ramankutty, communication personnelle.

⁸ Idem.

d'une certaine gamme de plantes, ne s'intéresse pas aux rendements accessibles de manière à distinguer différents degrés d'aptitude à la culture, non plus qu'à différents modes de gestion des cultures. La démarche du SAGE a un caractère plus empirique dans la mesure où elle déclare des terres cultivables sur la base de données concernant les caractéristiques des terres et leur mise en culture effective. Et elle a un caractère plus global aussi, au sens où elle considère toutes les cultures existantes, sans distinction. Pour autant, ces deux études ont des points communs, qui participent aussi de leurs limites : analyse agro-écologique avec pas (ou peu) de prise en compte des facteurs économiques ou sociaux, des usages alternatifs des terres, des aménagements fonciers possibles ; et absence d'analyse de l'évolution possible des terres suite à leur mise en culture.

Il n'en demeure pas moins que la contribution du SAGE à la production de données sur les terres à usages agricoles dans le monde, et sur les terres cultivables, est particulièrement importante.

Au terme de cette analyse, il apparaît que deux bases de données fournissent des informations sur l'étendue contemporaine des terres cultivées et des pâturages, dans le monde et à d'autres échelles géographiques : FAOSTAT d'une part, et la base du SAGE reprise par GTAP d'autre part. Et deux bases de données procurent des informations sur les superficies de terres cultivables : celle de l'étude GAEZ et celle du SAGE. Ces données, qui dépendent bien sûr des méthodes utilisées pour les obtenir, comportent des incertitudes, dues notamment à l'imprécision de certaines définitions. Le tableau 1 présente un récapitulatif synoptique des principales caractéristiques des bases de données analysées. Nous analysons ci-après leurs résultats.

Tableau 1 : Récapitulatif synoptique des principales caractéristiques des bases de données analysées

Bases de données	FAOSTAT	GAEZ	SAGE/GTAP
Organisme, et chercheur principal le cas échéant	FAO	IIASA (<i>International Institute for Applied Systems Analysis</i>) FAO Günther Fischer	SAGE (<i>center for Sustainability And the Global Environment</i>) GTAP (<i>Global Trade Analysis Project</i>) Navin Ramankutty
Types de sources utilisées	Statistiques	Statistiques et satellitaires	Statistiques et satellitaires
Sources	<ul style="list-style-type: none"> - Statistiques nationales essentiellement, et aussi : - autres sources officielles nationales - autres statistiques internationales - réponses officielles à des questionnaires de la FAO - sources semi-officielles - estimations par des experts de la FAO 	<ul style="list-style-type: none"> - Base de données climatiques de l'Université de <i>East Anglia</i> - Carte numérique des sols du monde FAO/UNESCO - <i>World Inventory of Soil Emission Potentials</i> - <i>International Soil Reference and Information Center</i> - <i>Global 30 Arc Second Elevation Database (United States Geological Survey / Earth Resources Observation Satellite Data Center)</i> - Base de données sur la topographie - <i>Global Land Cover Characterization Database</i> - Base de données sur les limites administratives 	<ul style="list-style-type: none"> - FAO - Nombreuses sources nationales et infranationales - <i>Global Land Cover 2000</i> - <i>Boston University's Moderate Resolution Imaging Spectrometer</i>
Types de résultats pertinents pour l'étude	Superficies des : <ul style="list-style-type: none"> - terres arables - cultures permanentes - prairies et pâturages permanents 	<ul style="list-style-type: none"> - Superficies des terres cultivables avec l'une au moins des 154 variétés de plantes cultivées référencées dans la base - Classement des terres en 5 catégories d'aptitude à la culture selon les rendements accessibles 	Superficies des : <ul style="list-style-type: none"> - terres cultivées (= terres arables + cultures permanentes) - prairies et pâturages permanents - terres avec d'autres usages ou couvertures

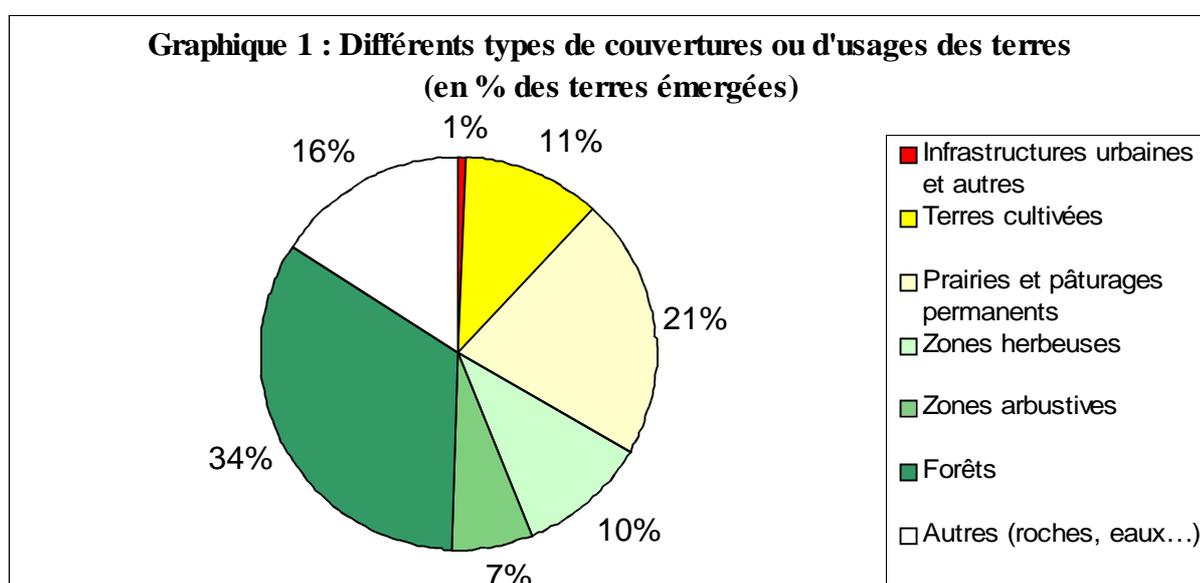
		- Superficies cultivables sous couvert forestier	- cultivables (toutes cultures)
Couverture géographique	228 pays et divers groupes de pays	158 pays, 22 régions, 18 zones agro-écologiques	2605 unités administratives (Etats, provinces...), 160 pays, 20 régions, 18 zones agro-écologiques
Date(s) de référence pour les résultats	Chaque année de 1961 à 2005 (années suivantes non encore disponibles lors de la réalisation de la présente étude)	Décennie 1990	1992
Grands traits de la méthode d'obtention des résultats	Compilation et mise en cohérence de sources statistiques nationales et d'autres sources (cf ci-dessus)	- Comparaison des besoins de 154 variétés de plantes cultivées et des caractéristiques édaphiques de 2,2 millions de cellules de 5 minutes de latitude et de longitude - Comparaison du rendement accessible dans une cellule, selon 3 grands modes de gestion des cultures, avec le meilleur rendement constaté dans la grande zone climatique correspondante	- Confrontation et harmonisation des données de nombreuses sources statistiques et de données d'origine satellitaire, pour identifier les usages et couvertures des terres - Calcul d'un indice de potentiel pour la culture tenant compte de 2 variables climatiques et de 2 variables pédologiques, pour identifier les superficies cultivables (toutes cultures)
Observations sur la méthode ou sur la base elle-même	- Lacunes assez nombreuses - Imprécision de certaines définitions, notamment des « prairies et pâturages permanents » - Usage souple de certaines définitions	- Analyse agro-écologique, très peu de prise en compte des facteurs socio-économiques - Prise en compte de la forêt mais pas des autres usages alternatifs à la culture : pâturages naturels, zones protégées... - Analyse statique, à un moment donné, qui n'envisage pas l'évolution des aptitudes à la culture : dégradation, ou bonification par divers types d'aménagements (terrassement des pentes, drainage, amendements...)	- Analyse strictement agro-écologique - Pas de prise en compte des usages des terres alternatifs à la culture - Analyse statique

2 Terres cultivées et terres cultivables

2.1 Usages, agricoles et autres, des terres

2.1.1 Les grands types de couvertures ou d'usages des terres d'après le SAGE et GTAP

Les données d'origine satellitaire analysées par le SAGE et par GTAP permettent de se représenter les parts relatives des grands types de couverture ou d'usage des terres de la planète (cf graphique 1, et annexe 6 pour la définition des 7 catégories de couverture ou d'usage des terres). Notons que la catégorie « Terres cultivées » désigne ici l'ensemble des « Terres arables » et des « Terres sous cultures permanentes » au sens de la FAO (cf section 1.1 et annexe 1), et que la catégorie « Prairies et pâturages permanents » reprend aussi la définition de la FAO.

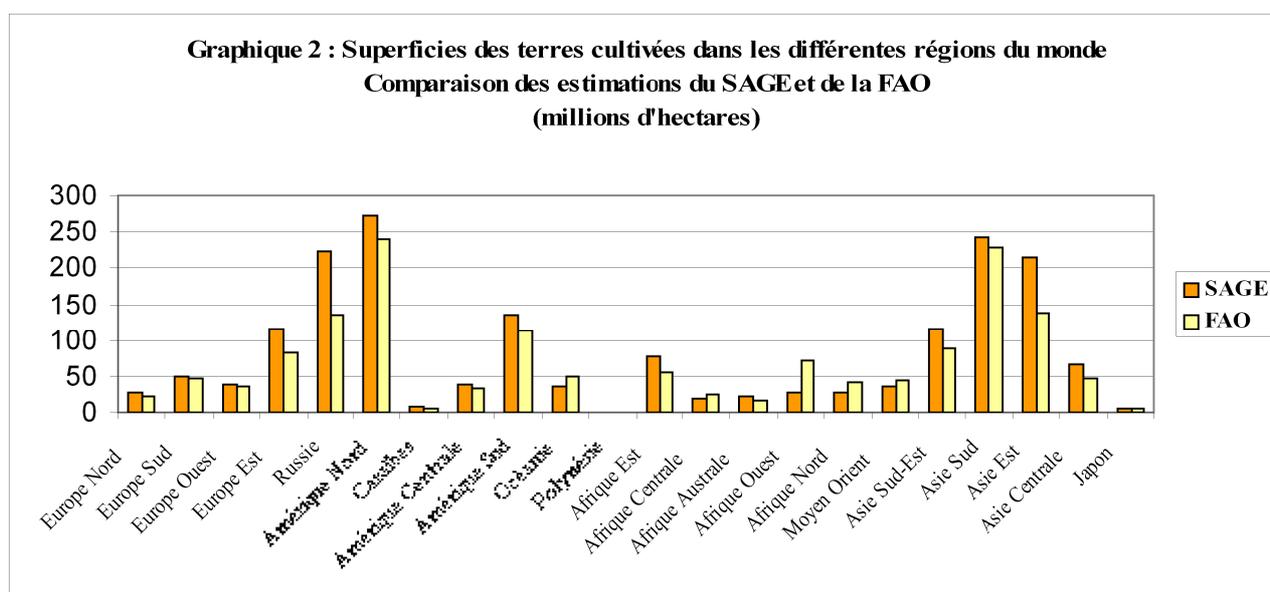


Sources : d'après SAGE, GTAP

Aux incertitudes près, un tiers de la surface des terres émergées est recouvert de forêts, et un autre tiers est consacré à des usages agricoles : 10% de terres cultivées et 20% de prairies et pâturages permanents, sachant que des zones considérées comme herbeuses ou arbustives (17% des terres) peuvent être pâturées, tandis que certaines zones herbeuses sont improprement classées en pâturages. Les infrastructures urbaines et autres occupent une superficie relativement faible à l'échelle mondiale : quelque 0,6% des terres émergées et, d'après nos calculs, moins de 5% des terres classées par l'étude GAEZ comme très convenables, convenables ou modérément convenables à la culture. Or, ce pourcentage est de fait surestimé dans la mesure où une partie des infrastructures est installée sur des terres peu ou non convenables à la culture. On peut signaler cependant que cette proportion atteint 16% en Asie, tandis qu'elle est beaucoup plus faible sur les autres continents : environ 4% en Europe (dont Russie), 3% en Afrique, 2% en Amérique et 1% en Océanie.

2.1.2 Comparaison des estimations des superficies de terres cultivées par la FAO et par le SAGE

Pour ce qui est de la superficie des terres cultivées, la FAO l'estime à 1525 millions d'hectares et le SAGE à 1805 millions d'hectares en 1992⁹, soit 17% de plus que la FAO. Les évaluations du SAGE sont en effet supérieures à celle de la FAO pour la plupart des régions du monde (cf graphique 2), notamment en Russie, en Europe de l'Est, en Asie de l'Est et du Sud-Est, et en Amérique du Nord¹⁰. En revanche, elles sont inférieures pour l'Afrique de l'Ouest, l'Afrique du Nord et le Moyen-Orient. Ces divergences proviennent des différences dans les sources, celles-ci pouvant avoir des interprétations variées de la catégorie « terres cultivées », et des différences dans les méthodes d'estimation utilisées, sans que l'on puisse faire la part des unes et des autres.



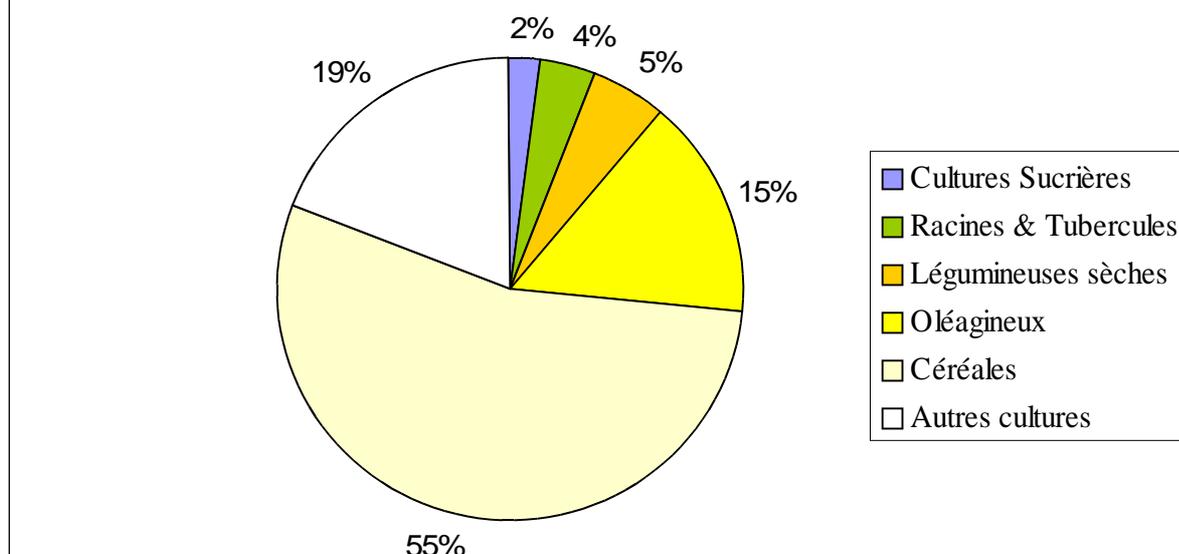
Sources : d'après SAGE, FAO

S'agissant des différents types de cultures occupant les terres cultivées de la planète (cf graphique 3), on peut constater que les céréales occupent de loin la plus grande partie (55%), ce qui est cohérent avec le fait que ce groupe d'aliments apporte environ la moitié de l'énergie et des protéines alimentaires de l'humanité.

⁹ Les données accessibles sur le site du SAGE concernent l'année 1992, qui sert donc ici de référence à la comparaison. Celle-ci demeure pleinement d'actualité dans la mesure où, d'après FAOSTAT, la superficie des terres arables n'a augmenté que de 1,7% entre 1992 et 2005.

¹⁰ La plupart des graphiques de cette section sont établis sur la base du découpage en 22 régions retenu dans l'étude GAEZ (cf annexe 4).

Graphique 3 : Répartition des superficies cultivées de la planète entre les principaux types de cultures



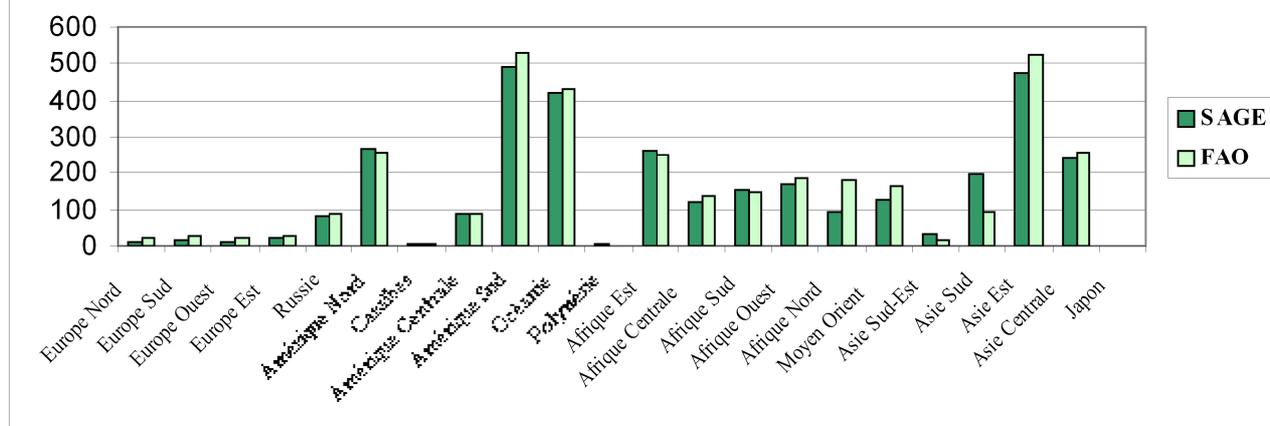
Sources : d'après SAGE, GTAP

2.1.3 Comparaison des estimations des superficies en pâturages permanents par la FAO et par le SAGE

En ce qui concerne la superficie des pâturages permanents du monde, la FAO l'estime à 3 370 millions d'hectares et le SAGE à 3 272 millions d'hectares en 1992¹¹, soit 3% de moins que la FAO. Les évaluations du SAGE sont inférieures à celles de la FAO pour la plupart des régions du monde (cf graphique 4), en particulier pour celles qui comportent des zones arides ou semi-arides comme l'Afrique du Nord, le Moyen-Orient et l'Asie de l'Est (qui comprend la Chine). En revanche, les évaluations du SAGE sont supérieures pour l'Asie du Sud et du Sud-Est, et aussi pour l'Amérique du Nord et l'Afrique de l'Est. De même que pour les terres cultivées, ces divergences proviennent des différences de sources, de méthodes d'estimation, et d'interprétation de la catégorie « prairies et pâturages permanents » – notamment du fait que le SAGE ne comptabilise pas comme « pâturages permanents » des zones enherbées qui sont rapportées par les sources nationales comme étant non pâturées.

¹¹ La comparaison pour 1992 est d'actualité car, d'après FAOSTAT, la superficie mondiale en pâturages n'a augmenté que de 0,6% entre 1992 et 2005.

**Graphique 4 : Superficies des pâturages dans les différentes régions du monde
Comparaison des estimations du SAGE et de la FAO
(millions d'hectares)**



Sources : d'après SAGE, FAO

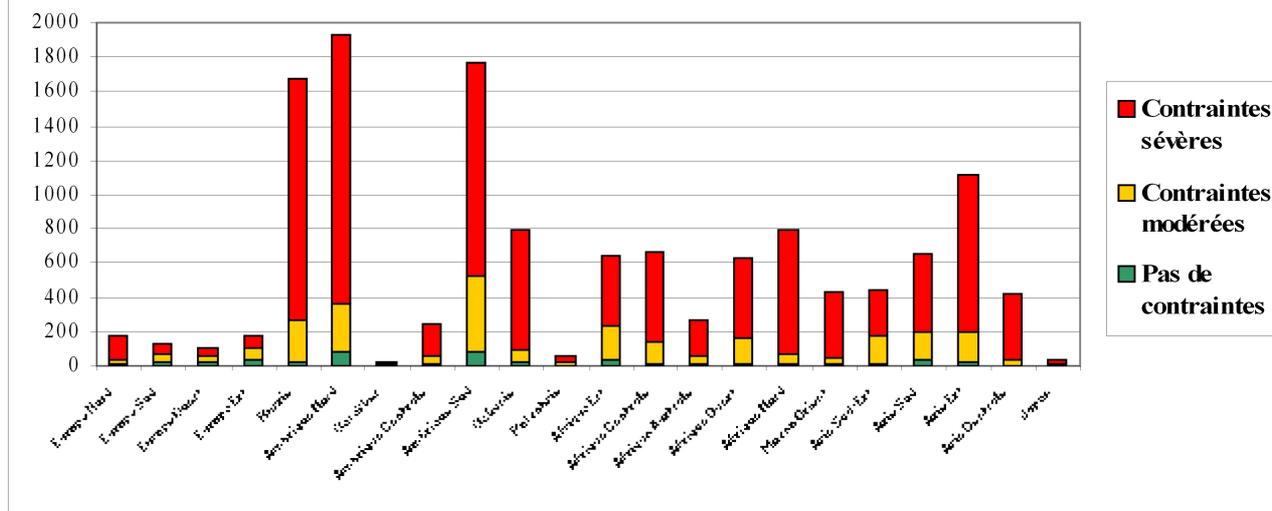
2.2 Terres cultivables d'après l'étude GAEZ, comparaison avec les estimations du SAGE

L'étude GAEZ évalue les superficies concernées par différents types de contraintes pesant sur la mise en culture des terres émergées, ainsi que par différents niveaux d'aptitude à la culture pour les terres cultivables (<http://www.iiasa.ac.at/Research/LUC/GAEZ/home.htm>).

2.2.1 Contraintes à la mise en culture d'après l'étude GAEZ

Les contraintes qui pèsent sur la mise en culture des terres émergées sont d'ordre climatique, topographique ou pédologique. Selon l'étude GAEZ, 78% des terres émergées présentent des contraintes *sévères* : 13% ont un climat trop froid, 27% un climat trop sec, 12% sont trop pentues, et 65% ont des sols défavorables de par leur profondeur, leur classe pédologique, leur texture, leur composition chimique ou leur aptitude au drainage (ces contraintes ne sont pas exclusives les unes des autres). Seulement 3,5% des terres émergées sont considérées comme *sans contraintes*, tandis que 18,5% sont jugées affectées de *contraintes modérées*. Les régions du monde qui disposent des plus grandes superficies en terres sans contraintes sont l'Amérique du Nord et l'Amérique du Sud (plus de 80 millions d'hectares dans chaque cas), l'Asie du Sud, l'Europe de l'Est et l'Afrique de l'Est (plus de 30 millions d'hectares dans chaque cas) (cf graphique 5).

Graphique 5 : Superficies des terres avec, ou sans, contraintes culturelles* dans les différentes régions du monde (millions d'hectares)



* Contraintes topographiques, pédologiques ou climatiques

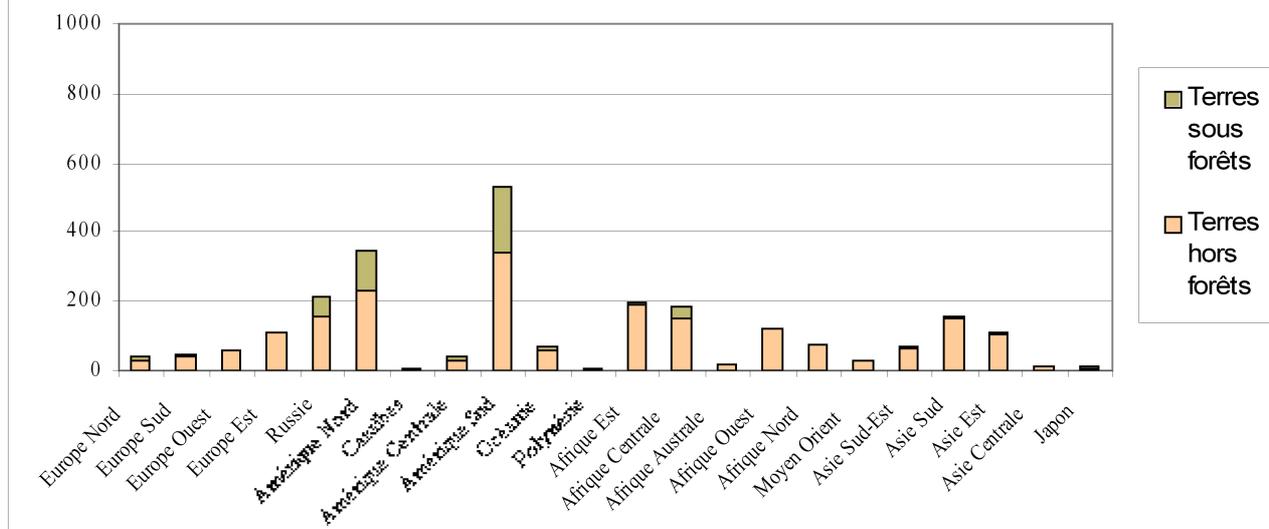
Source : d'après GAEZ

2.2.2 Différents niveaux d'aptitude à la culture et couvert forestier d'après l'étude GAEZ

Pour autant, la superficie des terres jugées aptes à la culture pluviale (sans besoin d'irriguer) de l'une au moins des 154 variétés de plantes retenues, tous modes de gestion combinés, dépasse un peu celle des terres sans contraintes ou à contraintes modérées : elle représente en effet 27% des terres émergées (3 573 millions d'hectares) pour les terres très convenables, convenables ou modérément convenables à la culture, et 4% de plus (579 millions d'hectares) pour les terres peu convenables. Restent donc environ 70% des terres émergées qui sont considérées comme non convenables à la culture.

Près du quart des terres aptes à la culture est actuellement recouvert de forêts, ce qui correspond à un tiers des espaces forestiers du monde. Les régions qui comportent une forte part (plus de 30%) de forêts sur leurs terres cultivables sont l'Amérique du Sud, l'Amérique du Nord, l'Afrique centrale et la Russie (cf graphique 6 et tableau de données en annexe 7). Les régions qui comprennent les plus fortes proportions de terres très convenables et convenables par rapport à leur superficie totale sont l'Europe de l'Ouest, l'Europe de l'Est, les Caraïbes, l'Afrique centrale (plus de 40%), et aussi l'Afrique de l'Est, l'Amérique du Sud (autour de 35%).

Graphique 7 : Superficies des terres très convenables, convenables ou modérément convenables à la culture pluviale du blé, du riz ou du maïs, sous forêts ou hors forêts, dans les différentes régions du monde (millions d'hectares)



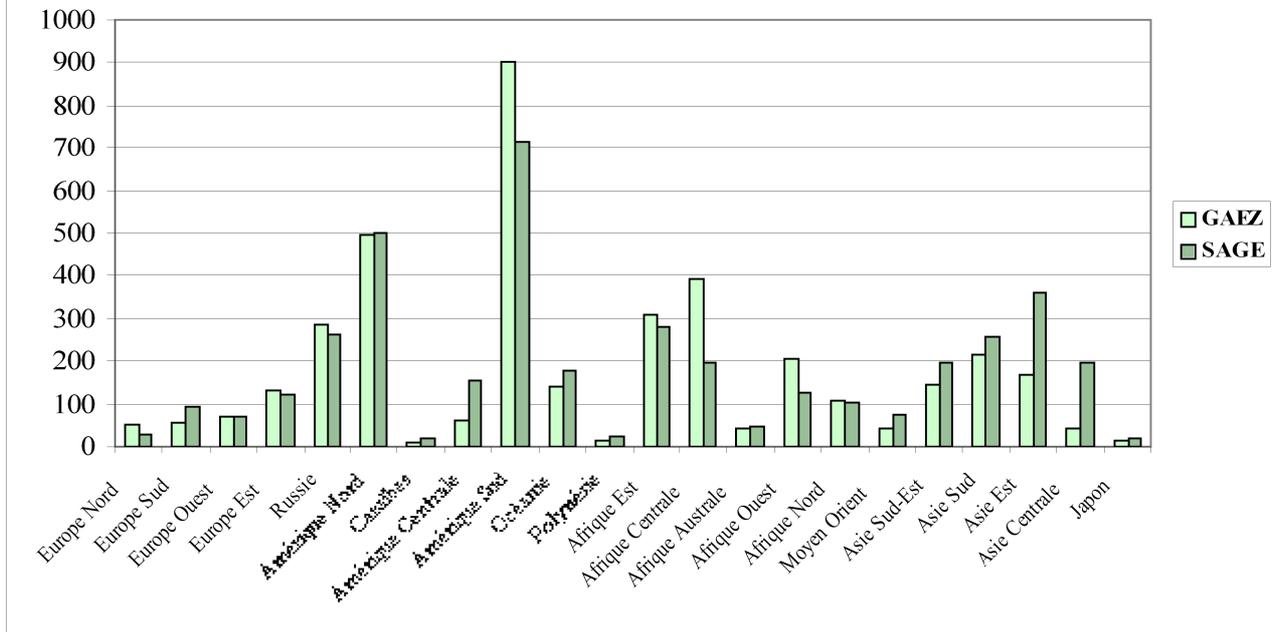
Source : GAEZ

Selon l'étude GAEZ toujours, près de la moitié des terres du monde classées « convenables » ne peuvent porter qu'une seule culture pluviale par an. Mais environ 10% de ces terres peuvent porter deux cultures se chevauchant au cours d'une année, 28% deux cultures successives, 8% trois cultures dont deux se chevauchant, et 7% trois cultures successives (Fischer et *al.*, 2002).

2.2.3 Comparaison avec les estimations du SAGE

Le SAGE estime les superficies cultivables de la planète à 4 022 millions d'hectares, un chiffre légèrement inférieur (de 3%) à celui de l'étude GAEZ (4 152 millions d'hectares). En revanche, les évaluations du SAGE et de l'étude GAEZ sont nettement différentes pour quelques régions (cf graphique 8) : évaluations très supérieures du SAGE pour l'Asie de l'Est et l'Asie centrale, très inférieures pour l'Afrique centrale et l'Amérique du Sud.

**Graphique 8 : Superficies des terres cultivables dans les différentes régions du monde
Comparaison des estimations de l'étude GAEZ et du SAGE
(millions d'hectares)**



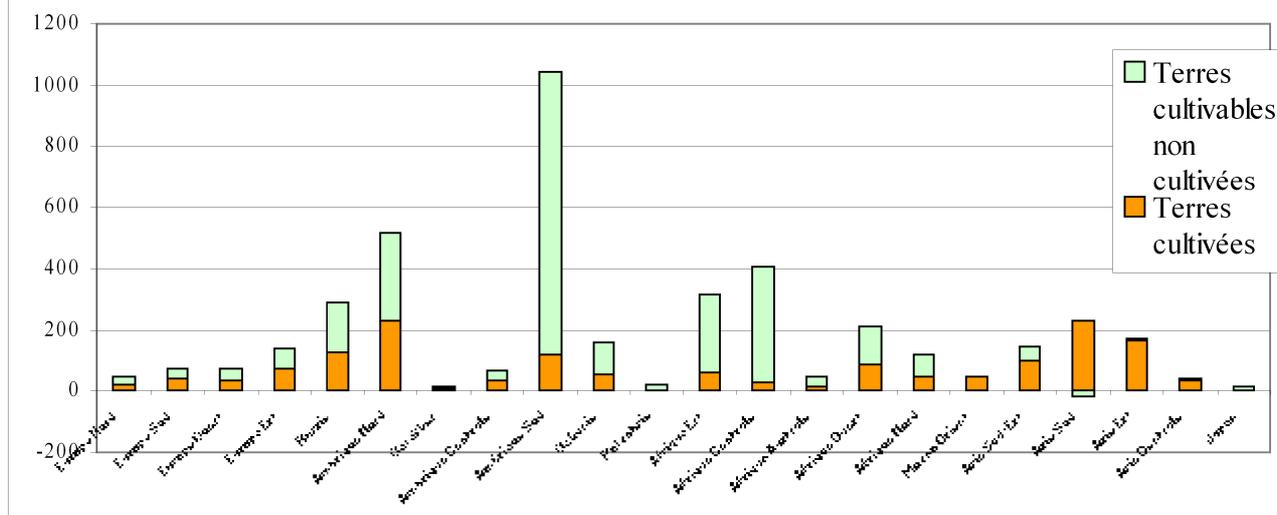
Sources : GAEZ, SAGE

2.3 Comparaison des superficies de terres cultivables et de terres cultivées

2.3.1 D'après l'étude GAEZ et la FAO

La comparaison des estimations des terres utilisables en culture pluviale selon l'étude GAEZ et des terres cultivées en 2005 par la FAO indique que 38% seulement des terres cultivables du monde sont effectivement cultivées : 1563 millions d'hectares sur 4152 millions. Cette proportion est particulièrement faible en Amérique du Sud (12%) et en Afrique sub-saharienne (20%) (cf graphique 9). Elle est faible aussi en Amérique du Nord, en Russie et en Europe (autour de la moitié). En revanche, elle est très élevée au Moyen-Orient et en Asie de l'Est (95%), en Asie centrale aussi (85%). En Asie du Sud, les terres cultivées excèdent même les terres jugées cultivables par l'étude GAEZ, du fait sans doute que la possibilité de terrasser les pentes n'est pas prise en compte dans cette étude.

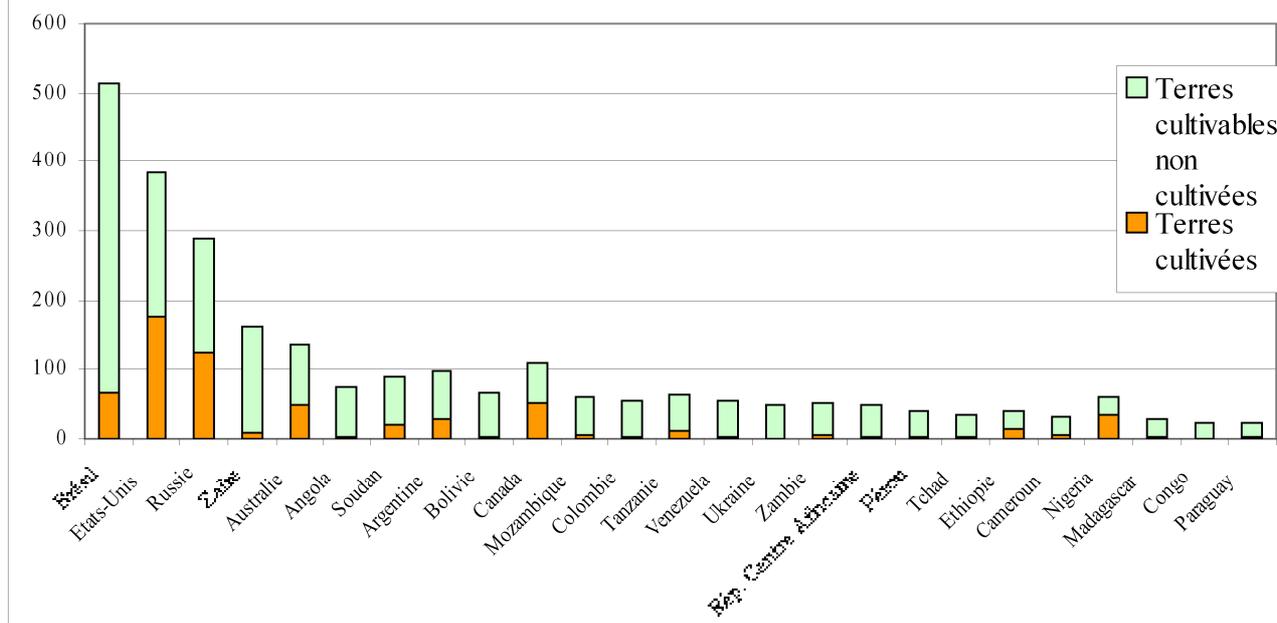
Graphique 9 : Superficies des terres cultivables d'après l'étude GAEZ et des terres cultivées en 2005 d'après la FAO (millions d'hectares)



Sources : d'après GAEZ, FAO

La même comparaison indique que les pays ayant les plus fortes disponibilités en terres cultivables non cultivées sont le Brésil (plusieurs centaines de millions d'hectares), les Etats-Unis, la Russie et le Zaïre (plus de 100 millions d'hectares) (cf graphique 10).

Graphique 10 : Superficies des terres cultivables et des terres cultivées en 2005 dans les 25 pays ayant les plus grandes disponibilités en terres cultivables non cultivées (millions d'hectares)



Sources : d'après GAEZ, SAGE

Si l'on restreint cette comparaison en considérant seulement les terres « convenables »¹² à la culture pluviale du blé, du riz et du maïs selon l'étude GAEZ, on constate que la superficie des terres cultivées, *toutes cultures confondues*, du monde en 2005 d'après la FAO représente 64% de la superficie « convenable » à ces trois céréales : 1563 millions d'hectares sur 2429 millions. Les surfaces cultivées du monde sont donc loin d'occuper une superficie équivalente à celle des terres « convenables » à la culture du blé, du riz ou du maïs. A cette échelle mondiale, la superficie cultivée en céréales seulement est d'environ 860 millions d'hectares, soit 35% de la superficie convenable aux trois céréales principales, étant entendu qu'une partie de cette dernière superficie porte d'ores et déjà des cultures autres que céréalières. La comparaison des superficies cultivées, toutes cultures confondues, et des superficies « convenables » aux trois céréales principales dans les différentes régions (cf graphique en annexe 9) montre que les disponibilités en terres céréalières non encore cultivées sont très étendues en Amérique du Nord, en Afrique de l'Est et Centrale ; étendues en Amérique du Nord et en Russie ; assez étendues en Europe.

2.3.2 D'après le SAGE

Le SAGE produit ses propres évaluations des superficies de terres cultivables et de terres cultivées (cf annexe 10). Ses résultats confirment, en gros, ceux de la comparaison précédente. Le SAGE estime en effet à 45% la part des terres cultivables du monde qui sont effectivement cultivées. Il estime également que cette proportion est très faible en Amérique du Sud et en Afrique subsaharienne (autour de 20%), et assez faible en Amérique du Nord (55%). Ses résultats diffèrent de ceux de l'étude GAEZ pour l'Europe, où ils sont supérieurs (proportion de 80%), et pour le Moyen-Orient et l'Asie où ils sont au contraire inférieurs (proportion comprise entre 50% et 70%).

Le tableau 2 présente un récapitulatif synoptique des principaux résultats des bases de données analysées et de nos comparaisons à l'échelle globale.

¹² Rappelons que « convenable » signifie l'ensemble des catégories « Très convenables », « Convenables » et « Modérément convenables » selon l'étude GAEZ.

Tableau 2 : récapitulatif synoptique des principaux résultats des bases de données analysées à l'échelle globale			
	FAOSTAT	GAEZ	SAGE / GTAP
Superficie des terres cultivées	1562,7 en 2005 ; 1525 en 1992		1805,5 en 1992
Superficie des pâturages	3401,8 en 2005 ; 3370 en 1992		3272 en 1992
Superficie des terres cultivables (de peu convenables à très convenables)		4151,6	4022,1
Superficie des terres cultivables sous forêts		904,3	
Part des terres cultivables sous forêts		22%	
	Comparaison de FAOSTAT (2005) et de GAEZ		SAGE / GTAP
Superficie des terres cultivables non cultivées		2588,9	2216,7
Part des terres cultivables non cultivées		62%	55%
NB : les superficies sont exprimées en millions d'hectares.			

2.4 Trois hypothèses sur les possibilités d'extension des superficies cultivées

Connaissant les superficies des différentes catégories de terres cultivables (plus ou moins convenables à la culture, couvertes ou non de forêts) telles qu'elles sont évaluées par l'étude GAEZ, ainsi que les superficies de terres cultivées en 2005 d'après la FAO, on peut calculer les possibilités d'extension des terres cultivées à l'échelle du monde et des différentes régions. Dans cette perspective, nous envisageons trois hypothèses.

Dans la première hypothèse, très restrictive, sont considérées comme pouvant être mises en culture les terres très convenables, convenables et modérément convenables, sauf celles qui sont recouvertes de forêts et sauf les superficies nécessaires aux infrastructures urbaines et autres¹³. Les terres peu convenables et les terres non convenables¹⁴ ne sont pas supposées être cultivées non plus.

Dans la deuxième hypothèse, moins restrictive, en plus des précédentes, les terres peu convenables sont considérées comme pouvant être mises en culture, à l'exclusion de celles qui sont sous forêt. Dans cette hypothèse comme dans la précédente, la mise en culture n'empiète donc pas sur les forêts, non plus que sur les superficies nécessaires aux infrastructures.

Dans la troisième hypothèse, moins restrictive encore, en plus des précédentes, toutes les terres cultivables sous forêt sont vues comme pouvant être mises en culture aussi, ce qui correspond au tiers des forêts du monde : les deux tiers de celles-ci resteraient donc debout.

¹³ Les superficies nécessaires aux infrastructures sont estimées ici pour des populations 1,5 fois plus nombreuses que les populations de l'an 2000, ce qui correspond au facteur moyen d'accroissement de la population mondiale entre 2000 et 2050 d'après les Nations unies. Ces superficies sont calculées simplement en augmentant de 50% celles qui sont déjà consacrées à cet usage en 2000, ce qui tend à les surestimer car, en général, elles s'accroissent moins vite que la population (cf note de bas de page 4).

¹⁴ Rappelons que les terres ainsi classées par l'étude GAEZ sont cultivables mais ont des rendements faibles.

Les résultats correspondants, exposés ci-après, doivent être interprétés avec précaution. Outre les incertitudes et les limites des bases de données (cf sections 1.1 et 1.2), il faut bien noter que ces résultats expriment des extensions possibles de superficies cultivées qui auraient lieu principalement dans des zones actuellement classées comme « herbeuses » ou « arbustives » ou comme « prairies et pâturages permanents »¹⁵, se situant éventuellement dans des zones protégées, sans que les données permettent de faire la part des unes et des autres. Ajoutons que les terres sont classées comme convenables à la culture dès lors que l'une au moins des 154 espèces considérées peut atteindre un rendement jugé acceptable. Ces éléments tendent à surestimer les possibilités d'extension des terres cultivées ainsi calculées.

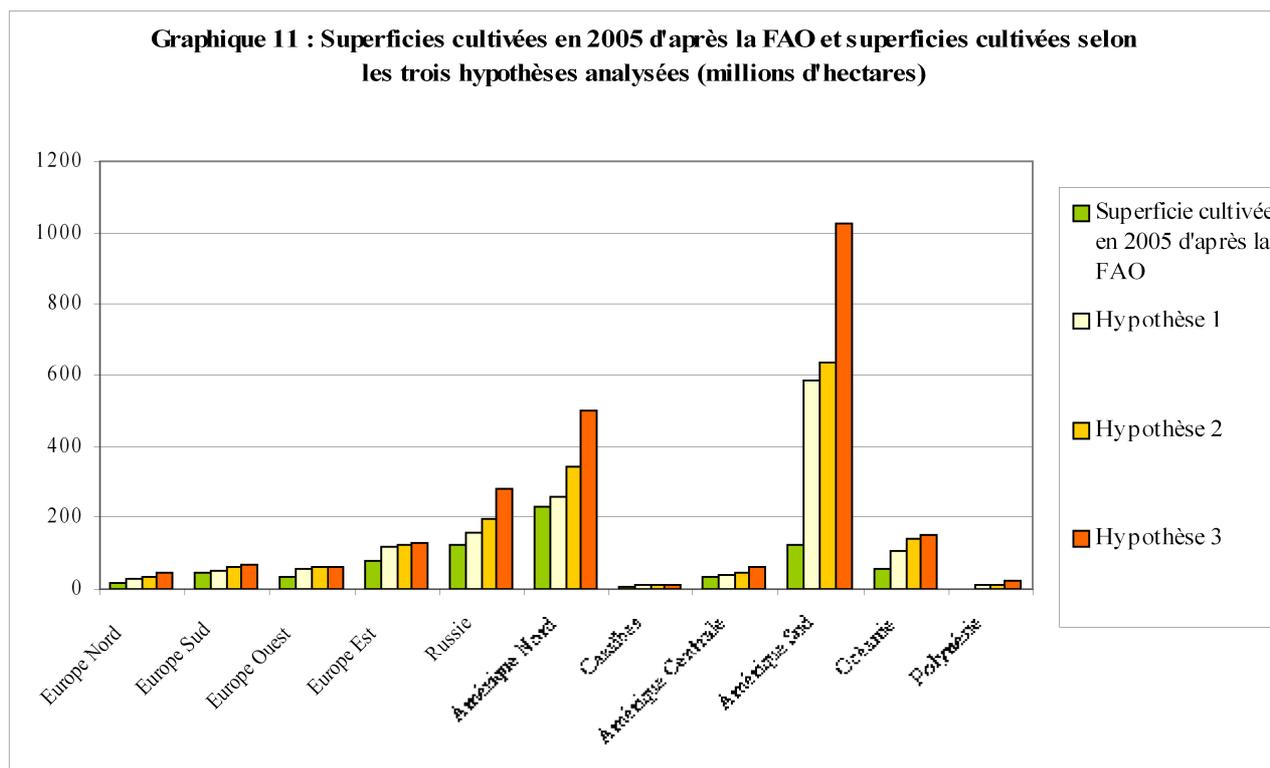
Mais d'autres éléments tendent à les sous-estimer : l'étude GAEZ considère comme non convenables à la culture les terres à faible rendement, et n'envisage pas de nombreux aménagements susceptibles de rendre des terres cultivables.

Les calculs effectués à l'échelle du monde indiquent que dans la première hypothèse, l'extension des superficies cultivées (par rapport à 2005) pourrait être d'environ 1000 millions d'hectares, étant entendu que ni les terres sous forêts, ni celles peu ou pas convenables à la culture, ni celles nécessaires aux infrastructures ne seraient alors mises en culture. Cela reviendrait à multiplier par 1,7 les superficies cultivées. Selon la deuxième hypothèse, la superficie cultivée mondiale pourrait être accrue d'environ 1450 millions d'hectares, soit une multiplication par presque 2 (toujours sans toucher aux forêts). Selon la troisième hypothèse, elle pourrait augmenter d'à peu près 2350 millions d'hectares, soit une multiplication par 2,5 (Mazoyer, Roudart, 2008).

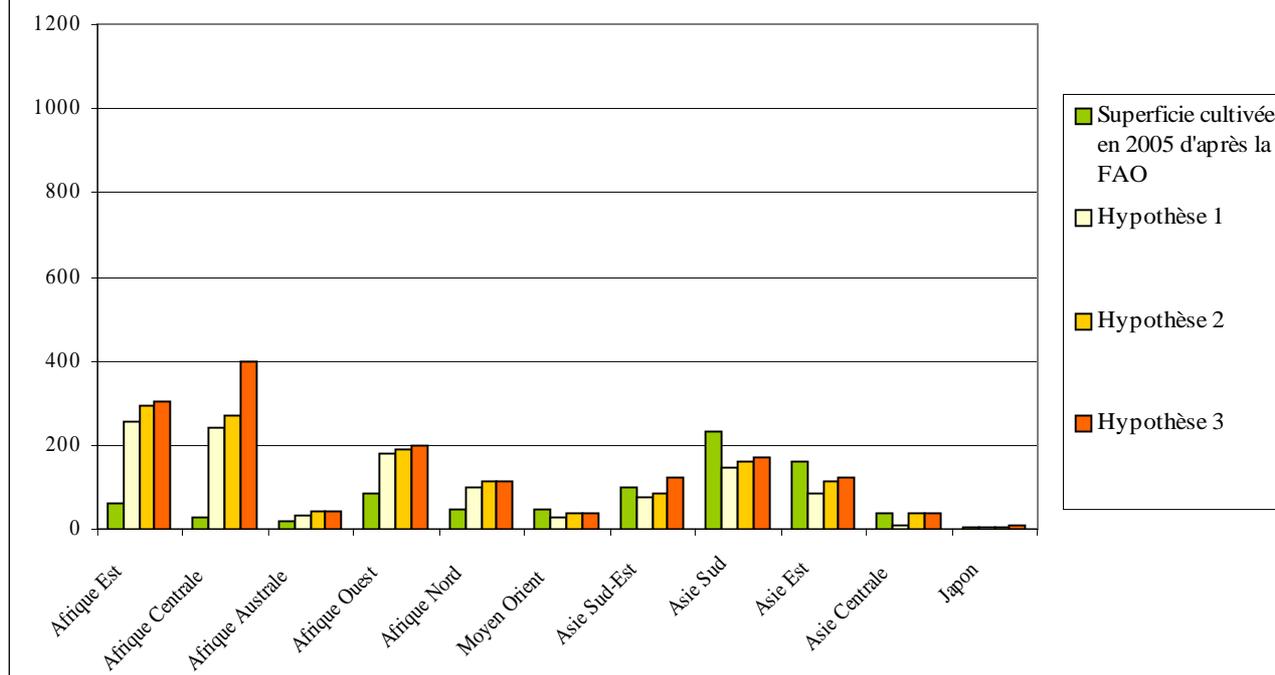
Toutefois, les possibilités d'extension des superficies cultivées sont très différentes d'une région à l'autre (cf graphique 11 et tableau de données en annexe 11). Elles sont particulièrement élevées dès l'hypothèse 1 en Amérique du Sud, avec environ 460 millions d'hectares, et en Afrique : 200 millions d'hectares en Afrique de l'Est et en Afrique Centrale, 90 millions en Afrique de l'Ouest et 50 millions en Afrique du Nord. Dans l'hypothèse 2, en cas de mise en culture en plus des terres peu convenables, les possibilités d'extension seraient encore accrues : d'une trentaine de millions d'hectares en Océanie et en Afrique Centrale, d'une quarantaine en Russie et en Afrique de l'Est, d'une cinquantaine en Amérique du Sud et de près de quatre-vingt dix millions d'hectares en Amérique du Nord. Dans l'hypothèse 3, en cas de mise en culture en plus des terres cultivables sous forêts, les possibilités d'extension seraient beaucoup plus grandes encore en Amérique du Sud et en Afrique Centrale : un peu plus de 1000 millions d'hectares et un peu moins de 400 millions

¹⁵ Dans l'hypothèse 3 seulement, les superficies cultivées s'étendraient en partie au détriment des forêts.

d'hectares respectivement, à condition de défricher un peu plus de la moitié et les deux tiers des forêts (respectivement). Dans cette hypothèse 3, de vastes superficies paraissent disponibles aussi en Amérique du Nord et en Russie : environ 500 et 280 millions d'hectares respectivement, à condition de défricher près de 30% et un peu plus de 10% des forêts (respectivement). Les résultats font ressortir aussi qu'au Moyen-Orient et en Asie, les superficies déjà cultivées excèdent en général celles qui seraient cultivées dans les trois hypothèses analysées, ce qui signifie que les superficies déjà cultivées sont supérieures aux superficies estimées convenables (de très convenables à peu convenables) à la culture d'après l'étude GAEZ. Ce n'est pas le cas toutefois de l'hypothèse 3 en Asie du Sud-Est et au Japon : là, le défrichement des forêts situées sur des terres cultivables, soit un peu moins de 20% de l'ensemble des forêts, permettrait d'étendre les superficies cultivées. Ailleurs en Asie et au Moyen-Orient, pratiquement aucune extension des terres utilisées en culture pluviale ne paraît possible compte tenu des méthodes d'évaluation des aptitudes des terres à la culture. Les mêmes résultats peuvent être exprimés en termes de facteurs multiplicatifs des superficies cultivées en 2005 (cf graphique en annexe 12).



Graphique 11 (suite) : Superficies cultivées en 2005 d'après la FAO et superficies cultivées selon les trois hypothèses analysées (millions d'hectares)



Sources : nos calculs, d'après GAEZ et FAO.

Ces résultats sont convergents avec ceux publiés récemment par l'OCDE et la FAO (OCDE/FAO, 2009), qui ont estimé les différences entre superficies « convenables »¹⁶ et superficies cultivées : d'une part en prenant en compte toutes ces superficies « convenables », ce qui les conduit à calculer des « différences brutes » (*Gross Land Balances*) ; d'autre part en excluant de ces superficies « convenables » les zones couvertes de forêts, ou d'infrastructures urbaines, ou protégées, ce qui aboutit au calcul de « différences nettes » (*Net Land Balances*). Ce dernier calcul est proche de notre hypothèse 1, à ceci près que nous n'avons pas défalqué les superficies des zones protégées. Ainsi, à l'échelle mondiale, l'OCDE et la FAO évaluent à 547 millions d'hectares la superficie « nette » encore disponible pour la culture. Si on y ajoute la superficie des zones protégées du monde, soit 481 millions d'hectares (Fischer, 2009), on obtient 1028 millions d'hectares, un chiffre très proche de notre propre résultat dans l'hypothèse 1, à savoir 1008 millions d'hectares.

Dans les hypothèses 1 et 2, nous l'avons dit, les extensions de superficies cultivées auraient lieu non seulement au détriment des pâturages, mais aussi dans des zones actuellement classées comme « herbeuses » ou « arbustives ». Compte tenu de l'importance des pâturages dans la reproduction de la fertilité des terres cultivées dans de nombreuses régions, nous avons comparé les possibilités d'extension des superficies cultivées selon l'hypothèse 2 avec les superficies actuellement en

¹⁶ Rappelons que « convenable » signifie l'ensemble des catégories « Très convenables », « Convenables » et « Modérément convenables » selon l'étude GAEZ.

pâturages (cf graphique en annexe 13). Cela revient implicitement à se placer dans une hypothèse très restrictive selon laquelle les superficies cultivées s'étendraient exclusivement au détriment des pâturages et conduit à distinguer plusieurs cas. Dans le premier, les extensions possibles de superficies cultivées représentent moins de 40% des superficies en pâturages. En première approximation, nous retenons ce seuil de 40% car, selon G. Fischer, en 2000, environ 55-60% de la biomasse des pâturages permanents du monde sert effectivement de fourrage aux animaux (Fischer, 2009). Sur la base de ce seuil, qu'il faudrait affiner selon les régions, on peut penser qu'en Amérique du Nord, en Océanie, en Afrique Australe et du Nord, le conflit d'usage des terres entre cultures et pâtures pourrait ne pas être aigu. Ceci est lié au fait que de vastes étendues de terres peuvent être utilisées comme pâturages mais ne peuvent pas être cultivées dans ces régions. C'est encore plus vrai au Moyen-Orient et en Asie. En revanche, partout ailleurs, les extensions possibles de superficies cultivées représentent plus de 40%, voire plus de 100%, des superficies en pâturages. Des études complémentaires sont nécessaires pour préciser quelles parts réelles des pâturages, des zones herbeuses et des zones arbustives pourraient contribuer à ces extensions.

Au terme de cette analyse, il apparaît que, en dépit des divergences, des incertitudes et des limites des bases de données que nous avons étudiées, les superficies utilisables en culture pluviale et non encore cultivées sont très étendues à l'échelle du monde, de plusieurs grandes régions et de nombreux pays, en particulier en Amérique du Sud et en Afrique sub-saharienne. En revanche, cette ressource apparaît comme rare, voire épuisée, au Moyen-Orient et en Asie compte tenu des méthodes employées pour juger de l'aptitude des terres à la culture.

Il reste maintenant à étudier comment les bases de données que nous analysons envisagent l'évolution des superficies cultivables en fonction du changement climatique et de l'irrigation.

3 Evolutions possibles des terres cultivables

Les bases GAEZ et SAGE envisagent les évolutions possibles de la superficie et de la localisation des terres cultivables en fonction de différents scénarii de changement climatique. La base GAEZ analyse aussi les effets du développement de l'irrigation sur les superficies cultivables en céréales et sur leur production.

3.1 Effets du changement climatique

3.1.1 D'après l'étude GAEZ

L'étude GAEZ examine les conséquences de sept scénarii de réchauffement climatique sur les superficies cultivables en blé, en maïs-grain et en riz¹⁷. Trois de ces scénarii envisagent des augmentations uniformes des températures mensuelles – de 1, de 2 ou 3° C –, tandis que les quatre autres envisagent des augmentations combinées des températures et des précipitations mensuelles : plus 1° C de température et plus 5% de précipitations ; plus 2° C et plus 5% ; plus 2° C et plus 10% ; plus 3° C et plus 10%¹⁸ (Fischer et *al.*, 2002 ; Fischer, Shah, van Velthuisen, 2002).

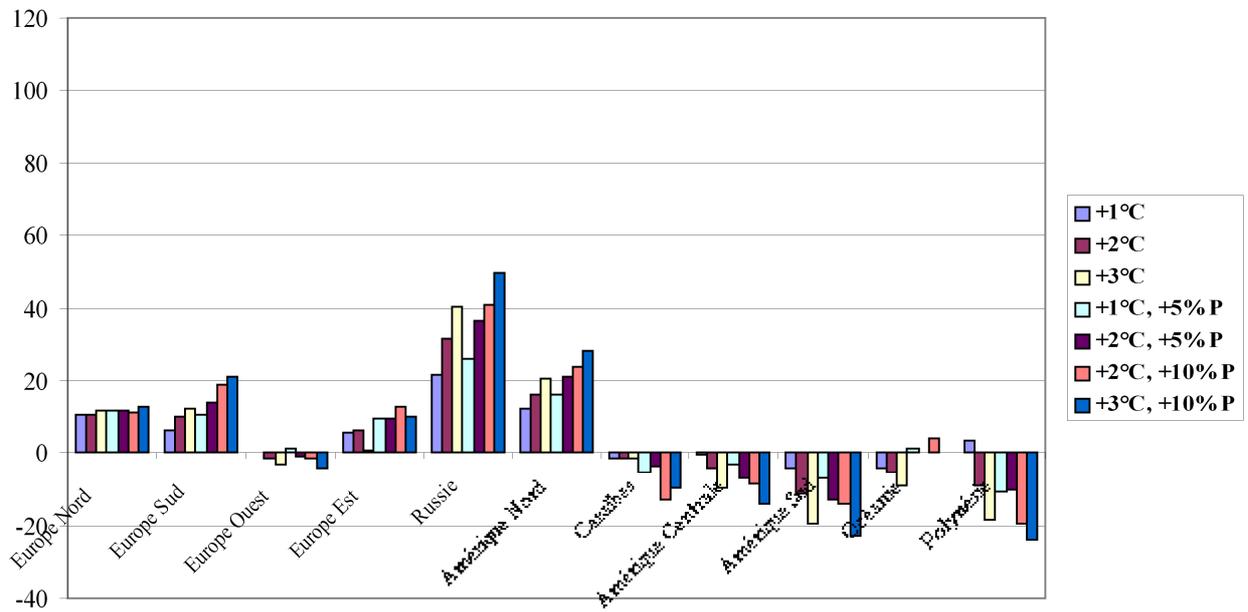
Selon cette étude, tous les scénarii conduiraient à une extension, faible (de 1% à 6%), des superficies cultivables en céréales à l'échelle du monde. Mais, dans les pays en développement, la superficie cultivable *diminuerait*, de 1,3% à 11% selon les scénarii, tandis qu'elle augmenterait notablement, de 11% à 25%, dans les pays développés.

Pour tous les scénarii, les gains de superficie cultivable seraient particulièrement importants (toujours supérieurs à 20%) au Moyen-Orient et en Russie, importants (autour de 20%) en Amérique du Nord et en Asie de l'Est, et aussi en Asie centrale (mais avec de fortes variations selon les scénarii) (cf graphique 12). Les variations de superficies seraient toujours positives, mais faibles, en Europe du Nord, du Sud et de l'Est. En revanche, elles seraient négatives pour tous les scénarii dans les Caraïbes, en Amérique du Centre et du Sud, en Afrique de l'Est, du Centre et de l'Ouest, en Asie du Sud-Est et du Sud, et au Japon. Dans les autres régions, les résultats seraient tantôt positifs tantôt négatifs selon les scénarii.

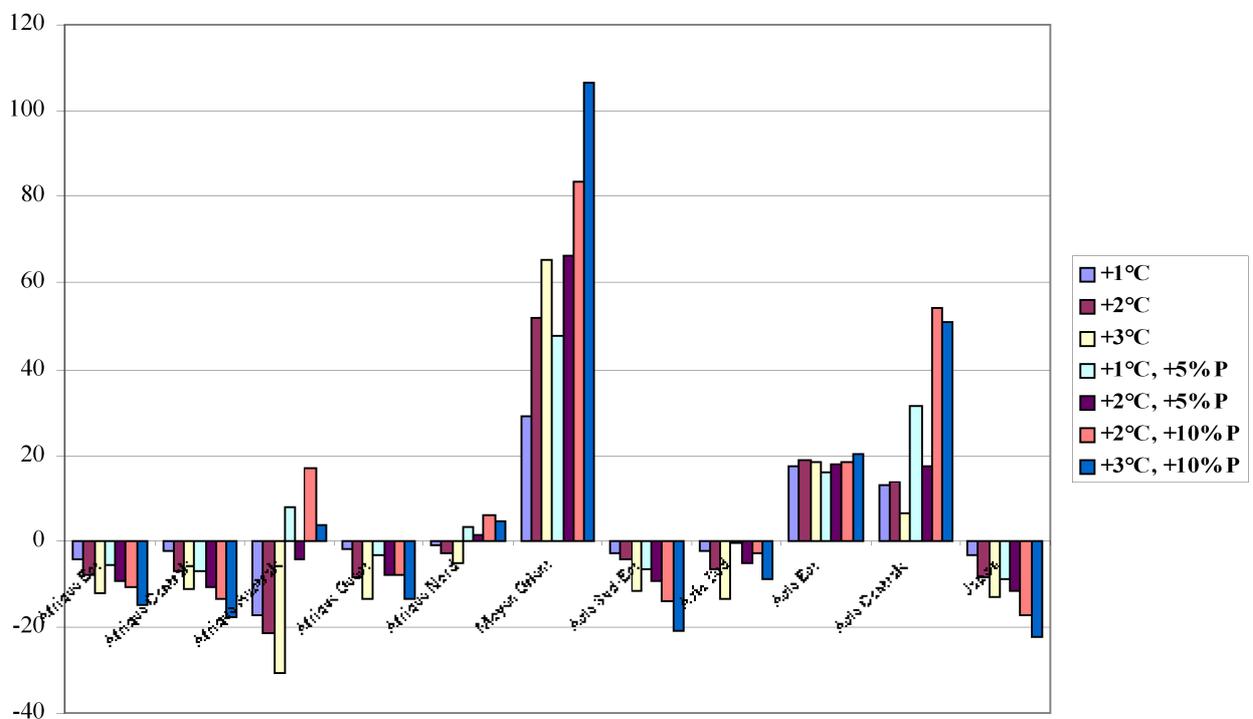
¹⁷ Cette étude n'analyse pas, tout au moins dans les publications accessibles, les effets du changement climatique sur les terres cultivables avec d'autres espèces que ces trois céréales, les plus importantes il est vrai dans l'alimentation de l'humanité.

¹⁸ Pour ce faire, l'étude GAEZ utilise trois modèles de simulation climatique : ECHAM4, du *German Climate Research Centre of the Max-Planck Institute for Meteorology* (Hamburg) ; CGCM1, du *Canadian Centre of Climate Modeling and Analysis* ; HadCM2, du *Hadley Centre for Climate Prediction and Research* (Royaume-Uni)

Graphique 12 : Evolution des superficies convenables à la culture du blé, du maïs grain et du riz dans différentes régions du monde en fonction de 7 scénarii de changement climatique (en %)



Graphique 12 (suite) : Evolution des superficies convenables à la culture du blé, du maïs grain et du riz dans différentes régions du monde en fonction de 7 scénarii de changement climatique (en %)



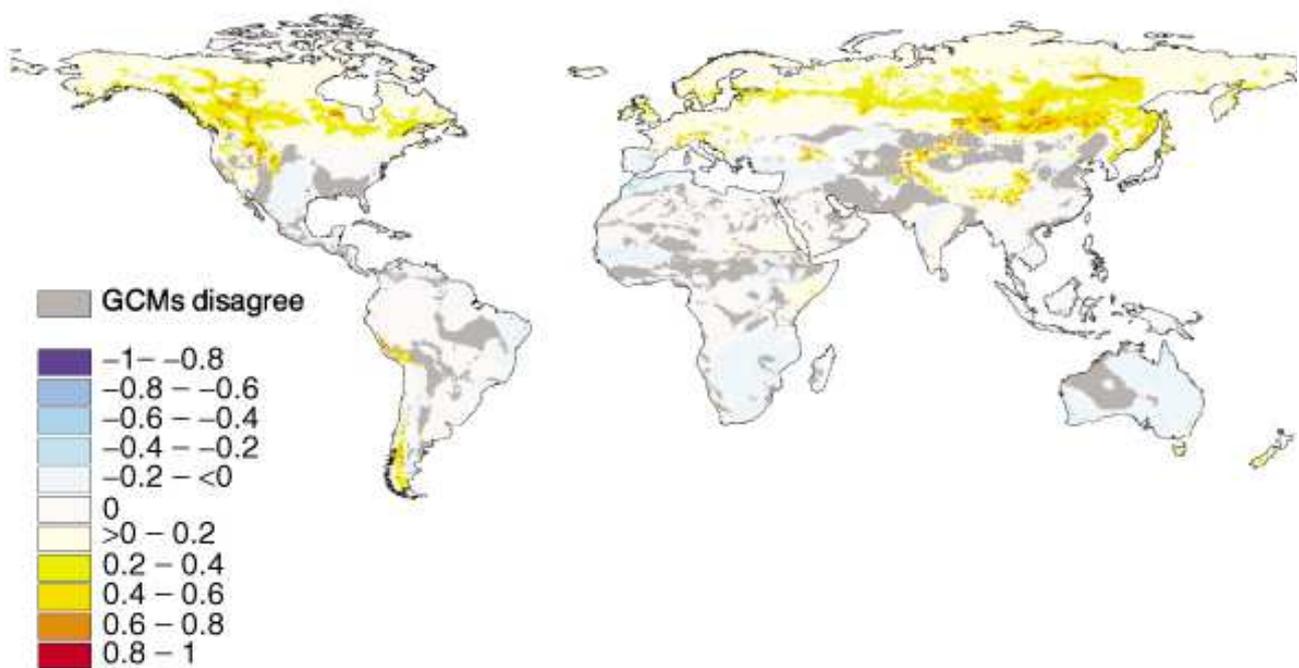
Source : d'après GAEZ

3.1.2 D'après le SAGE

Le SAGE de son côté utilise quatre modèles de simulation climatique¹⁹ pour tester les effets du réchauffement sur l'indice de potentiel pour la culture des terres (cf section 1.3.2)²⁰, en supposant que seules les variables dépendant du climat sont affectées, et non pas celles qui dépendent du sol. La variation de l'indice n'est prise en compte que si trois des quatre modèles s'accordent sur son sens de variation (Monfreda, Ramankutty, Hertel, 2008 ; Ramankutty, Foley *et al.*, 2002).

Leurs résultats (cf carte 1) sont convergents avec ceux de l'étude GAEZ. Ils indiquent que des zones assez étendues, non cultivables avec le climat actuel du fait d'une insuffisance des températures, deviendraient cultivables : il s'agit de zones septentrionales de l'hémisphère nord (Nord du Canada, de l'Europe, de la Russie, de la Mongolie et de la Chine), de zones australes de l'hémisphère sud (Sud du Chili et de l'Argentine, Tasmanie, Nouvelle-Zélande), et de zones montagneuses principalement situées dans les Andes et dans l'Himalaya. En revanche, les régions tropicales perdraient des terres cultivables, en particulier dans les zones proches des zones arides et qui le deviendraient elles aussi avec l'augmentation des températures. Il en irait ainsi en Afrique, au Nord de l'Amérique latine jusqu'au Mexique, et en Océanie.

Variations avec le réchauffement climatique de l'indice de potentiel pour la culture des terres, calculé par le SAGE



¹⁹ Il s'agit des trois modèles utilisés par l'étude GAEZ déjà mentionnés dans la note de bas de page précédente, et du modèle de l'*Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*.

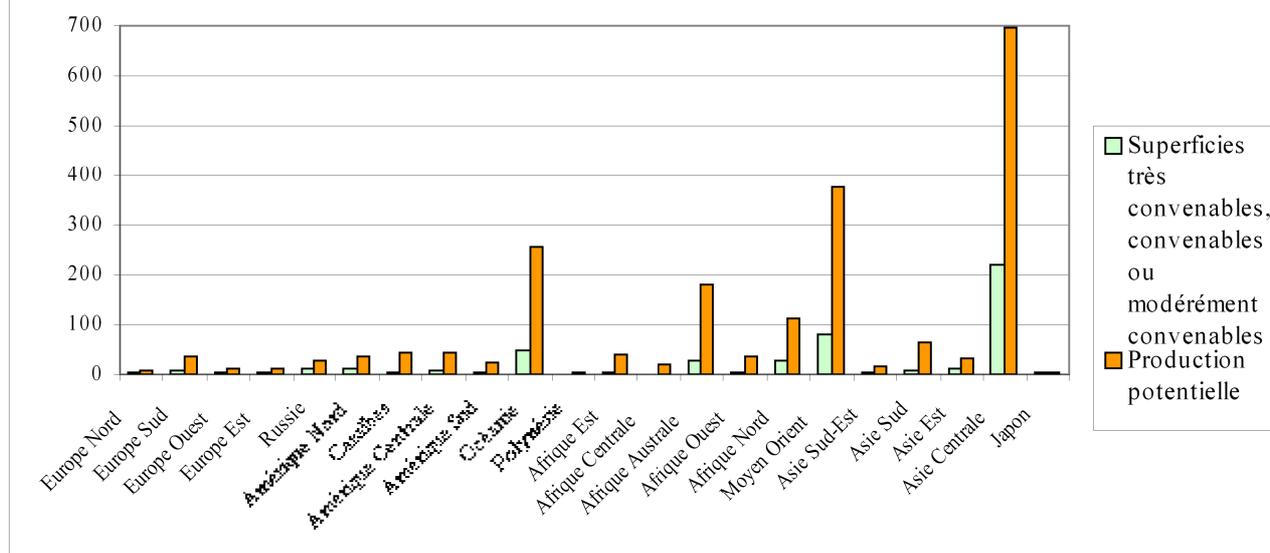
²⁰ Rappelons que cet indice peut être interprété comme la proportion des terres qui est cultivable compte tenu des quatre variables pédo-climatiques considérées, par rapport à la totalité des terres.

3.2 Effets de l'irrigation

L'étude GAEZ analyse aussi les conséquences de l'extension maximum de l'irrigation sur les superficies cultivables en céréales et sur la production. Pour cela, elle prend en compte toutes les zones où l'eau est le facteur limitant ces cultures (dans le climat actuel) et où les pentes des terrains, relativement faibles (cf section 1.2.3), permettent l'aménagement d'infrastructures d'irrigation. En outre, elle considère que toute l'eau nécessaire serait apportée de manière à atteindre les rendements maximums accessibles compte tenu des risques (cf section 1.2.2) pour le plus grand nombre possible de récoltes par an. Cependant, dans les zones arides où la durée de la période végétative est inférieure à 60 jours, l'irrigation est considérée comme possible seulement sur les fluvisols et les gleysols (Fischer et *al.*, 2002). Il n'en reste pas moins que pour connaître les possibilités réelles d'extension de l'irrigation, cette analyse devrait être complétée par l'étude des disponibilités effectives en eau et par l'évaluation de la faisabilité technique et économique des aménagements pour l'irrigation dans les différentes régions.

Selon cette analyse, à l'échelle du monde, les superficies « convenables » à la culture de céréales pourraient être accrues de 8%, et la production de 40% par rapport à son niveau de 1994/96, dans l'hypothèse d'une extension maximum de l'irrigation. Ces effets seraient plus importants dans les pays développés (13% et 46% respectivement) que dans les pays en développement (7% et 38%). Dans les différentes régions aussi (cf graphique 13), les impacts sur la production sont en général très supérieurs à ceux sur la superficie convenable dans la mesure où l'irrigation permet non seulement d'étendre la superficie cultivée mais aussi d'accroître les rendements et le nombre de récoltes par an éventuellement. Les effets sont particulièrement élevés (augmentation de plus de 100% de la production, et de plus de 25% de la superficie convenable) en Asie centrale, au Moyen-Orient, en Océanie, en Afrique australe et du Nord. Or, d'après l'analyse qui précède (cf section 2.4), l'Asie centrale et le Moyen-Orient sont des régions où les marges d'extension de la culture pluviale sont inexistantes : le développement de l'irrigation apparaît donc là comme la seule possibilité d'abonder les superficies cultivables, compte tenu des méthodes utilisées pour estimer l'aptitude des terres à la culture.

Graphique 13 : Contribution potentielle de l'irrigation à l'augmentation des superficies convenables à la culture, et à la production, de céréales dans les différentes régions du monde (en %)



Source : étude GAEZ

Les possibilités d'accroissement des superficies cultivables par l'irrigation ne sont donc pas négligeables, en supposant que l'eau nécessaire est disponible et qu'il est économiquement possible d'irriguer mais, dans la plupart des régions, ces marges sont très inférieures aux possibilités d'extension des superficies utilisables en culture pluviale.

4 Limites de l'étude et voies d'approfondissement

L'objet de cette étude est de recenser, d'analyser et de comparer les résultats des bases de données existantes relatives aux différentes catégories de terres à usage agricole possible dans le monde, que ces terres soient effectivement utilisées ou non, et d'en tirer une représentation, avec des fourchettes d'évaluation quantifiées, des disponibilités globales et régionales en différentes catégories de terres, ainsi que de leurs possibilités de variation à terme. La validité des résultats présentés ci-dessus est nécessairement restreinte par les limites des bases de données elles-mêmes : marges d'erreur inhérentes à toute base statistique et à toute base de données satellitaires ; imprécision ou utilisation souple de certaines définitions ; lacunes ; analyses essentiellement agro-écologiques qui ne prennent pas, ou très peu, en compte les facteurs socio-économiques influençant la mise en culture des terres ainsi que les modalités de la culture le cas échéant ; analyses essentiellement statiques, qui n'envisagent pas de nombreux facteurs d'évolution des aptitudes des terres à la culture, qu'il s'agisse de dégradation ou de bonification ; les données accessibles ne permettent pas de recouper

les superficies des différentes catégories de terres cultivables avec leurs couvertures ou leurs usages actuels, sauf pour les forêts.

Des études complémentaires pourraient mettre en relation les données sur les différentes catégories de terres cultivables avec des données – aux échelles globale, régionale et nationale – sur les terres déjà cultivées ; sur les pâturages permanents et le chargement en bétail ; sur les densités de population humaine ; sur les infrastructures urbaines et autres ; sur la dégradation des sols ; sur les zones protégées ; sur les disponibilités en eau pour l'irrigation dans les zones concernées ; sur les zones basses qui pourraient être envahies par les mers selon certains scénarios de réchauffement climatique.

Idéalement, il faudrait mettre en correspondance ces données via un système d'information géographique, ce qui suppose l'établissement d'une collaboration à long terme avec l'IIASA. Cela permettrait notamment de localiser les différents types de terres cultivables non encore cultivées, ces différents types étant caractérisés par la nature des cultures qui y sont possibles, ainsi que par leur couverture actuelle de manière à évaluer en particulier la concurrence possible entre cultures et pâturages. Il reste que, dans chaque sous-région, des études de nature différente, à caractère technique, économique et social, devraient être conduites en plus pour évaluer les aptitudes *effectives* des terres à la culture compte tenu du contexte économique et social.

Mais, dans un premier temps, la simple confrontation de telles données aux échelles nationale et régionale serait déjà instructive. Elle permettrait notamment de calculer les possibilités d'extension des superficies cultivées en tenant compte des zones protégées région par région, ce qui serait comparable aux résultats de l'OCDE et de la FAO (OCDE/FAO, 2009).

La prise en compte d'informations sur les possibilités de bonification des terres par divers aménagements (autres que l'irrigation, déjà mentionnée) tels que le drainage, les amendements, le terrassement serait également nécessaire mais, à notre connaissance, il n'existe pas de base de données à ce sujet aux échelles globale, régionale et nationale.

Malgré ces limites, les résultats de la présente étude permettent d'éclairer plusieurs recherches actuelles sur la prospective agricole et alimentaire mondiale, sur l'extension possible des superficies

cultivées pour produire des agrocarburants, et de tirer des enseignements concernant les politiques publiques.

5 Enseignements pour la prospective et les politiques publiques

5.1 Prospective relative à l'agriculture, à l'alimentation et aux agrocarburants

Parmi les scénarios de prospective agricole et alimentaire qui ont été élaborés, nous en avons retenu deux, qui sont très contrastés : le scénario de la FAO (FAO, 2006, 2009), et le scénario Agrimonde 1 (INRA-CIRAD, 2009).

Le scénario de la FAO prévoit à l'échelle mondiale entre 2000 et 2050 une décélération de la croissance de la demande²¹ de produits agricoles pour l'alimentation par rapport à la période 1960-2000, due surtout à une moindre croissance de la population et à l'atteinte de niveaux de consommation alimentaire relativement élevés dans des pays de plus en plus nombreux. En conséquence, il prévoit une décélération de la croissance de la production agricole mondiale. Pour autant, celle-ci devrait tout de même presque doubler entre 2000 et 2050. Selon la FAO, 90% de cette augmentation proviendrait d'un accroissement des rendements et de l'intensité culturale (nombre de récoltes par an sur une même superficie), tandis que 10% seulement viendrait de l'extension des superficies cultivées. En cela, ce scénario s'inscrit dans le renforcement des tendances passées dans la mesure où, de 1960 à 2000, les sources de la croissance de la production agricole se sont réparties entre 85% pour l'accroissement des rendements et de l'intensité culturale, et 15% pour l'extension des superficies cultivées (FAO, 2002). Cela se traduirait par un taux d'accroissement annuel des rendements de 0,8% entre 2000 et 2050, contre 1,7% entre 1960 et 2000. Soulignons que ce scénario prévoit une diminution de la sous-alimentation chronique dans les pays en développement – à la fois en proportion de la population totale (de 17% à 3,9%) et en nombre absolu (de 810 millions à 290 millions) – mais une persistance de cette sous-alimentation dans les pays où elle sévit sévèrement actuellement, où la croissance démographique est forte et les ressources agricoles maigres. Dans ces conditions, il envisage entre 2000 et 2050 une extension des superficies cultivées du monde de 70 millions d'hectares²², un chiffre très inférieur à l'estimation des possibilités d'extension selon notre hypothèse 1, la plus restrictive, même corrigée pour prendre en compte les 481 millions d'hectares de zones protégées du monde, soit une estimation à 527

²¹ Il s'agit bien ici de la demande *solvable*, et non des besoins.

²² Ce chiffre de 70 millions d'hectares correspond à une extension des superficies cultivées de 120 millions d'hectares dans les pays en développement et à une réduction de 50 millions d'hectares dans les pays développés.

(=1008-481) millions d'hectares. De manière logique, ce chiffre est très inférieur aussi à l'estimation de l'OCDE et de la FAO qui se situe à 547 millions d'hectares (*Net Land Balance*).

Le scénario Agrimonde 1 contraste fortement avec le précédent dans la mesure où il table sur une large extension des superficies cultivées : 590 millions d'hectares en plus à l'échelle globale entre 2000 et 2050, cette extension ayant lieu surtout en Amérique du Sud et en Afrique sub-saharienne. En effet, ce scénario explore les possibilités de développement d'une révolution doublement verte, qui se traduirait certes par des accroissements de rendement dans la plupart des régions, mais des accroissements relativement faibles car ils reposeraient essentiellement sur une meilleure utilisation des fonctionnalités écologiques des écosystèmes cultivés et sur des techniques accessibles aux producteurs pauvres. Ainsi, le taux d'accroissement annuel du rendement des cultures alimentaires dans le monde serait de 0,14% dans l'hypothèse basse d'Agrimonde 1. Soulignons que ce scénario prévoit la mise en place, dans chaque région, de conditions favorables à une réduction très importante de la sous-alimentation et de la malnutrition, que celle-ci soit due à des carences ou à des excès : il suppose en effet qu'en 2050, les disponibilités énergétiques alimentaires seront de 3000 kilocalories par personne et par jour, dont 2500 kilocalories végétales et 500 kilocalories animales, dans chaque région, ce qui correspond à une forte hausse en Afrique sub-saharienne et à une baisse significative dans la zone OCDE (dans ses contours de 1990). Le chiffre de 590 millions d'hectares d'extension des superficies cultivées est un peu supérieur à l'évaluation des possibilités d'extension par l'OCDE et la FAO (547 millions d'hectares), étant entendu que cette évaluation est très restrictive : elle exclut de la mise en culture toutes les zones protégées, ainsi que toutes les zones peu convenables à la culture, ainsi encore que toutes les terres cultivables sous forêts. D'après nos estimations selon les hypothèses 2 (mise en culture en plus des terres peu convenables) et 3 (mise en culture en plus des terres cultivables sous forêt ce qui, rappelons-le, conduirait à défricher un tiers des forêts du monde) combinées avec l'exclusion de la mise en culture de 481 millions d'hectares de zones protégées, il apparaît possible d'étendre les superficies cultivées de 970 (=1451-481) millions d'hectares et 1875 (=2356-481) millions d'hectares respectivement. Encore ces chiffres sont-ils sous-évalués dans la mesure où les zones protégées, les forêts sur terres cultivables et les terres peu convenables à la culture se recourent. Dans cette perspective, l'hypothèse d'extension des superficies cultivées de 590 millions d'hectares dans le scénario Agrimonde 1 apparaît non seulement plausible mais même modeste.

Pour ce qui concerne les cultures à fin de produire des agrocarburants, Agrimonde 1 prévoit qu'elles occuperaient 224 millions d'hectares sur les 590 millions d'hectares supplémentaires, soit moins de

10% de la superficie cultivée du monde en 2050. Cette estimation repose sur l'hypothèse que les agrocarburants seraient alors produits à partir de ligno-cellulose, ou de sous-produits alimentaires, ou de micro-algues, d'où une concurrence pour les superficies cultivables moindre qu'avec des agrocarburants de première génération. La superficie consacrée aux agrocarburants étant incluse dans l'estimation de la superficie cultivée additionnelle en 2050, nous n'avons pas à revenir ici sur l'évaluation de cette estimation.

En revanche, le scénario de la FAO, qui a pour objectif de projeter la production agricole en fonction de la demande alimentaire, ne fait pas d'estimation des superficies qui pourraient être dédiées à des cultures pour agrocarburants. De telles estimations ont été produites par ailleurs, sur la base du scénario de référence de l'Agence internationale pour l'énergie, et sur la base d'un scénario plus ambitieux, qui prévoit un doublement environ de la consommation d'agrocarburants par rapport au scénario de cette Agence (Fischer et *al.*, 2009 ; Fischer, 2009). L'analyse des différentes variantes de ces scénarios, y compris en tenant compte des effets du changement climatique, conduit à des estimations de superficies cultivées pour produire des agrocarburants qui atteignent au maximum 58 millions d'hectares à l'échelle mondiale en 2050 (un chiffre très inférieur aux 224 millions d'hectares prévus à cette fin par Agrimonde 1). Quand on ajoute ces 58 millions d'hectares aux 70 millions d'hectares cultivés supplémentaires prévus par la FAO, on obtient un chiffre proche de 130 millions d'hectares, très inférieur à l'estimation des superficies encore disponibles pour la mise en culture selon l'OCDE et la FAO (547 millions d'hectares), et *a fortiori* très inférieur à nos estimations selon les hypothèses 2 et 3 corrigées en excluant de la mise en culture toutes les zones protégées (970 et 1875 millions d'hectares respectivement).

En définitive, d'après nos résultats et ceux des deux scénarios prospectifs que nous avons pris en compte, celui de la FAO (FAO, 2006, 2009) et Agrimonde 1 (INRA-CIRAD, 2009), les superficies des terres du monde utilisables en culture pluviale sont largement supérieures aux superficies nécessaires pour assurer tout à la fois des conditions de sécurité alimentaire satisfaisantes pour l'ensemble de l'humanité et un certain développement des cultures pour les agrocarburants. Cette conclusion reste vraie même en se plaçant dans l'hypothèse d'une très faible croissance des rendements des cultures, selon un scénario de révolution doublement verte durable, même en excluant de la mise en culture toutes les forêts et toutes les zones actuellement protégées et même en tenant compte des effets plausibles du réchauffement climatique.

Dès lors que les terres utilisables en culture pluviale (sans besoin d'irriguer) ne sont pas, à l'échelle du monde et de nombreuses régions, une ressource rare limitant la production agricole et la consommation alimentaire, il apparaît que les questions cruciales à ce sujet ont trait à la manière dont les humains mobilisent ces ressources. Autrement dit, il s'agit fondamentalement d'une question politique d'organisation économique et sociale, qui renvoie notamment aux politiques publiques. En cela, nous rejoignons une position de la FAO énoncée lors de la réunion d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire mondiale (Rome, octobre 2009), selon laquelle « à l'échelle globale, il reste encore suffisamment de ressources en terres pour nourrir la population mondiale dans l'avenir prévisible, pourvu que soient effectués les investissements nécessaires pour développer ces ressources et pourvu que prenne fin la négligence à l'égard de la recherche et du développement agricoles qui a prévalu au cours des dernières décennies. » (FAO, 2009).

5.2 Politiques publiques

Les responsables de politiques publiques, nationales ou de coopération internationale, ayant trait à l'agriculture ont en effet une marge de manœuvre quant au mode de développement agricole international qui sera privilégié. Une première voie, celle à laquelle prédisposent la plupart des institutions en place, est de poursuivre les politiques et les pratiques qui, depuis plusieurs décennies, ont favorisé un mode de développement agricole exagérément concurrentiel, particulièrement inégal et même contradictoire, caractérisé par le déploiement de la révolution agricole contemporaine et de la révolution verte avec une très forte augmentation de la productivité du travail et du rendement de la terre pour une partie des exploitations familiales et pour les très grandes entreprises agricoles du monde, tandis que des centaines de millions d'autres agriculteurs ont vu leur développement bloqué puis ont basculé dans la pauvreté, la sous-alimentation et éventuellement l'exode et l'émigration. A ces graves revers sociaux se sont ajoutés, dans certaines régions où la révolution agricole contemporaine et la révolution verte se sont déployées, des revers écologiques tels que la salinisation, la baisse des nappes phréatiques, les pollutions des sols et des eaux, la perte de biodiversité, l'émission de fortes quantités de gaz à effet de serre... (IAASTD, 2008 ; Mazoyer, Roudart, 2008).

Dès lors que des superficies étendues peuvent être mises en culture dans de nombreuses régions du monde, une voie alternative est de promouvoir des agricultures diversifiées, à rendements *relativement* faibles, économes en intrants extérieurs et en énergies fossiles voire n'en utilisant pas, ayant peu d'effets négatifs sur l'environnement voire rendant des services environnementaux, et

assurant des moyens d'existence décents aux près de trois milliards de personnes qui constituent la population agricole.

Le choix de cette voie alternative requiert selon nous que les politiques publiques relatives à l'agriculture se fixent trois priorités. La première a trait aux prix des produits agricoles payés aux producteurs : elle est d'aller vers des prix qui rémunèrent correctement le travail correspondant, qui rémunèrent les services et taxent les coûts, sociaux et environnementaux, des modes de production correspondants. La deuxième priorité concerne l'accès à la terre : il s'agit de promouvoir des cadres juridiques et législatifs transparents, qui assurent aux agriculteurs pratiquant des modes de production durables un accès pérenne (pas nécessairement via la propriété privée) à la terre ; cette priorité s'avère particulièrement nécessaire dans le contexte actuel d'investissements étrangers directs dans le secteur agricole. La troisième priorité a trait à la recherche, à la formation et au conseil : il s'agit de mettre en place un inventaire des systèmes de production agricole qui existent et répondent aux critères énoncés ci-dessus, ainsi que d'orienter la recherche agricole vers des méthodes d'intensification écologique accessibles aux producteurs pauvres ; cela implique une recherche participative, qui intègre les savoirs scientifiques généraux et les savoirs spécifiques aux agricultures locales.

Conclusion

En conclusion, les bases de données que nous avons analysées montrent que les terres utilisables en culture pluviale et non cultivées ne sont pas, et ne seront pas prochainement, une ressource rare à l'échelle de la planète : d'après ces données, il serait possible de doubler la superficie cultivée mondiale sans empiéter sur les forêts et en laissant de côté une partie des terres à faible rendement ; et il serait possible de multiplier cette superficie par 1,6 en excluant de plus de la mise en culture toutes les zones actuellement protégées. En outre, le réchauffement climatique pourrait entraîner un accroissement, modeste, des superficies cultivables du monde. Les terres cultivables non cultivées sont très abondantes en Amérique du Sud et en Afrique sub-saharienne. Mais elles sont rares, voire épuisées, au Moyen-Orient et en Asie. A cet égard, l'Asie du Sud et du Sud-Est pourraient de plus pâtir du réchauffement climatique.

A l'échelle du monde, les superficies des terres utilisables en culture pluviale sont largement supérieures aux superficies nécessaires pour assurer tout à la fois des conditions de sécurité

alimentaire satisfaisantes pour l'ensemble de l'humanité et un certain développement des cultures pour les agrocarburants. Cette conclusion reste vraie même en se plaçant dans l'hypothèse d'une très faible croissance des rendements des cultures, selon un scénario de révolution doublement verte durable, et même en excluant de la mise en culture toutes les forêts et toutes les zones actuellement protégées. La valorisation durable de ces ressources en terres cultivables requiert des politiques publiques appropriées de prix agricoles, d'accès à la terre et de recherche-développement orientées vers les besoins et les possibilités des producteurs pauvres.

Bibliographie

Batjes N. H., Fischer G., Nachtergaele F.O., Stolbovoy V.S., van Velthuisen H.T. (1997), *Soil Data Derived from WISE for Use in Global and Regional AEZ Studies*, FAO, IIASA, ISRIC.

Collomb P. (1999), *Une voie étroite pour la sécurité alimentaire d'ici à 2050*, F.A.O. – Économica.

GIEC (2000), *L'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie*, OMM, PNUE.

FAO (2009), "Global agriculture towards 2050", *Expert Meeting on How to Feed the World in 2050*, Rome, FAO.

FAO (2006), *World agriculture : towards 2030/2050. Interim report. Prospects for food, nutrition, agriculture and major commodity groups*, FAO.

FAO (2002), *World agriculture : towards 2015/2030*, FAO.

Fischer G. (2009), "World Food and Agriculture to 2030/2050 : How do climate change and bioenergy alter the long-term outlook for food, agriculture and resource availability ?", *Expert Meeting on How to Feed the World in 2050*, Rome, FAO.

Fischer G., Teixeira E., Tothne-Hissnyik E., Van Velthuisen H. (2009), "Land Use Dynamics and Sugarcane Production", in *Sugarcane Ethanol, Contributions to Climate Change Mitigation and the Environment*, P. Zurbier & J. van de Vooren eds, Wageningen Academic Publishers.

Fischer G., Shah M., van Velthuisen H.T. (2002), *Climate Change and Agricultural Vulnerability*, United Nations, IIASA.

Fischer G., van Velthuisen H.T., Shah M., Nachtergaele F.O. (2002), *Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results*, IIASA.

Foley J. A., Ramankutty N., Leff B., Gibbs H.K. (2007), "Global Land Use Changes", in *Our Changing Planet : The View from Space*, M. D. King, C. L. Parkinson, K. C. Partington et R. G. Williams eds, Cambridge University Press, p. 262-265.

Griffon M. (2006), *Nourrir la planète*, Odile Jacob.

INRA-CIRAD (2009), *Agrimonde, Agricultures et alimentations du monde en 2050 : scénarios et défis pour un développement durable*, INRA-CIRAD.

IAASTD (*International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development*) (2008), *Agriculture at a Crossroads*, various reports, <http://www.agassessment.org/>

Lee H.-L., Hertel T.W., Sohngen B., Ramankutty N. (2005), "Towards An Integrated Land Use Database for Assessing the Potential for Greenhouse Gas Mitigation", *GTAP Technical Paper*, n° 25, https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=1900

Mazoyer M., Roudart L.(2008), « Histoire des agricultures », in *Encyclopaedia universalis*.

Mazoyer M., Roudart L. dirs (2005), *La fracture agricole et alimentaire mondiale*, Paris, *Universalis*.

Monfreda, C., Ramankutty N., Foley J. A. (2008), "Farming the Planet 2 : The Geographic Distribution of Crop Areas, Yields, Physiological Types and Net Primary Production in the Year 2000", *Global Biogeochemical Cycles* **22**, GB1022, doi:10.1029/2007GB002947.

Monfreda C., Ramankutty N., Hertel T.W. (2008), "Global Agricultural Land Use Data for Climate Change Analysis" *GTAP Working Paper*, n° 40, https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=1900

OCDE, FAO (2009), *OECD-FAO Agricultural Outlook 2009-2018*, Paris, OCDE.

Pinson, V. (2009), *Couvertures et usages agricoles des terres à l'échelle mondiale : analyse et comparaison des bases de données sur la situation actuelle et sur les évolutions possibles*, Vol. I : « Informations sur les contenus des bases de données existantes », Vol. II : « Annexes », Ministère de l'agriculture et de la pêche, Service Statistique et Prospective.

Ramankutty N., Evan A., Monfreda C., Foley J. A. (2008), "Farming the Planet 1 : The Geographic Distribution of Global Agricultural Lands in the Year 2000", *Global Biogeochemical Cycles* **22**, GB1003, doi:10.1029/2007GB002952.

Ramankutty N., Foley J. A., Norman J., McSweeney K. (2002). "The global distribution of cultivable lands : current patterns and sensitivity to possible climate change", *Global Ecology and Biogeography* (11): 377-392.

Ramankutty, N., Hertel T.W., Lee H.-L. (2005), "Global Land Use and Land Cover Data for Integrated Assessment Modeling", *GTAP Technical Paper*, <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/1990.pdf>.

Webographie

<http://faostat.fao.org/default.aspx> (données FAOSTAT)

<http://faostat.fao.org/site/377/default.aspx#ancor> (rubrique sur les ressources en terres de FAOSTAT)

<http://www.iiasa.ac.at/Research/LUC/GAEZ/home.htm> (données de l'étude GAEZ)

<http://www.sage.wisc.edu/iamdata/units.php> (données du SAGE)

https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=1900 (données et publications de GTAP)

Annexe 1

Catégories et définitions de la FAO relatives aux terres et à leurs usages Extraits du glossaire de la FAO

Catégories	Définitions
Superficie des terres	Superficie totale du pays moins la superficie des eaux intérieures (principaux cours d'eau et lacs). Les variations éventuelles peuvent s'expliquer par les mises à jour et les révisions des données par pays et ne reflètent pas nécessairement des changements de superficie.
Superficie agricole	La superficie agricole est la somme de : a) la superficie des terres arables b) la superficie en cultures permanentes c) la superficie en prairies et pâturages permanents.
Terres arables	Terres affectées à des cultures temporaires (les zones de polyculture* ne sont comptées qu'une fois), prairies temporaires à faucher ou à pâturer, cultures maraîchères et jardins potagers, et jachères temporaires (moins de cinq ans). Les terres abandonnées du fait de la culture itinérante n'entrent pas dans cette catégorie. Les données correspondant à "Terres arables" ne sont pas censées inclure les surfaces potentiellement cultivables.
Cultures permanentes	Les cultures sont classées en deux catégories: temporaires et permanentes. Les cultures permanentes sont semées ou plantées une fois, puis occupent le terrain pendant quelques années et ne doivent pas être replantées après chaque récolte annuelle, comme le cacao, le café et le caoutchouc. Cette catégorie comprend les arbustes destinés à la production de fleurs, les arbres fruitiers et les vignes, mais non les arbres destinés à la production de bois ou de grumes.
Prairies et pâturages permanents	Terres recouvertes de façon permanente (cinq ans ou plus) de plantes fourragères herbacées, soit cultivées soit à l'état naturel (herbages naturels ou pâturages).
Cultures temporaires	Les cultures temporaires sont semées et récoltées au cours d'une même campagne agricole, parfois plus d'une fois.
Prairies et pâturages temporaires	Terres temporairement plantées en herbacées fourragères pour être fauchées ou servir de pâture. Une période de moins de cinq ans est utilisée pour distinguer prairies permanentes et temporaires.
Jachères (temporaires)	Terres cultivées non ensemencées pendant une ou plusieurs saisons. La durée maximale de jachère est habituellement de moins de cinq ans. Les terres laissées trop longtemps en jachère peuvent acquérir des caractéristiques justifiant leur reclassement, sous "prairies et pâturages permanents" (si elles servent de pâture), "forêts ou terres boisées" (si elles sont envahies d'arbres) ou "autres terres" (si elles se transforment en friches).
Surface cultivée	La surface cultivée représente la superficie des terres accueillant une culture. En général, cette superficie mesurée à des fins de relevé cadastral englobe, outre la superficie cultivée, les fossés, les bouts de terrain et les autres superficies non cultivées. Une telle superficie peut être qualifiée de superficie brute, par opposition à la superficie nette qui n'en reprend que les parties effectivement cultivées. Diverses raisons, comme les catastrophes naturelles ou des motifs économiques, font qu'une culture donnée peut avoir été plantée ou ensemencée sur certaines zones, mais pas récoltée ou récoltée avant d'atteindre sa maturité. Il s'avère dès lors nécessaire de scinder la notion de superficie cultivée en superficie ensemencée ou plantée et superficie récoltée. Les données relatives à la superficie ensemencée sont nécessaires pour estimer les quantités servant à des fins d'ensemencement et celles se rapportant à la superficie récoltée pour donner des informations fiables et précises du rendement et de la production. Les cultures permanentes ont pour particularité que le nombre d'arbres ou de plants indiqués s'ajoute à la superficie plantée ou la remplace. Cette remarque vaut tout particulièrement pour les plantes qui poussent sur des plantations aérées, qui sont soit mélangées à d'autres cultures, soit éparpillées. La superficie et le nombre d'arbres sont également classés selon qu'ils sont, ou non, productifs ou porteurs de fruits. Dans la plupart des cas, "non porteurs de fruits" se rapportent à de jeunes plants qui n'ont pas encore de fruits.
Superficie ensemencée	Les données se rapportent aux superficies ensemencées ou plantées du végétal dont il est question, sur un sol préparé à cet effet. Cette superficie est habituellement indiquée à l'exclusion des parcelles incultes, des sentiers, des fossés, des bouts de terrain, des accotements, des haies coupe-vent, etc. Pour l'arboriculture, on applique parfois le concept de superficie brute. En ce qui concerne les cultures mixtes ou associées, il est demandé aux pays d'indiquer la superficie ensemencée séparément pour chacune des cultures. Lorsque l'association concerne des cultures particulières, en général des céréales, il est recommandé de la considérer comme une culture unique, de sorte que la superficie ensemencée ne sera

	comptabilisée que pour la culture indiquée.
Superficie récoltée	Les données se rapportent à la superficie dont on extrait un produit végétal. Une superficie récoltée ne comprend donc pas la superficie qui peut avoir été ensemencée ou plantée, mais qui n'a produit aucune récolte, soit que la culture n'ait pas réussi, soit qu'elle ait été abîmée, etc. Il s'agit d'habitude de la superficie nette dans le cas des cultures temporaires et, parfois, de la superficie brute dans le cas des cultures permanentes. Une superficie nette diffère d'une superficie brute dans la mesure où cette dernière comprend aussi les parcelles incultes, les sentiers, les fossés, les bouts de terrain, les accotements, les haies coupe-vent, etc. Si le produit végétal en question est récolté plus d'une fois par an du fait d'une culture multiple, comme c'est le cas si le même produit végétal est semé ou planté à plus d'une reprise dans le même champ au cours de l'année, la superficie sera comptée autant de fois qu'elle a été récoltée. À l'inverse, la superficie récoltée ne sera notée qu'une fois si l'on en extrait plusieurs fois dans l'année la récolte d'une même culture permanente.
Superficie forestière	Terres d'une superficie de plus de 0,5 hectare portant des arbres de plus de 5 mètres de haut avec un couvert forestier supérieur à 10 pour cent, ou des arbres capables d'atteindre ces critères in situ. Cette catégorie n'inclut pas les terres affectées de manière prédominante à une utilisation agricole ou urbaine. La forêt se définit à la fois par la présence d'arbres et par l'absence d'autres utilisations des sols. Les arbres doivent pouvoir atteindre une hauteur minimum de 5 mètres in situ. Les superficies en cours de reboisement qui ne satisfont pas encore aux critères de 5 mètres de hauteur pour les arbres et de 10 pour cent du couvert forestier mais qui devraient les remplir sont incluses dans cette catégorie, de même que les superficies temporairement déboisées, par suite d'une intervention humaine ou de causes naturelles, appelées à se régénérer. Sont également incluses : les superficies plantées en bambous et en palmiers pour autant qu'elles réunissent les critères de hauteur et de couvert forestier, les routes de forêt, les pare-feux et autres espaces libres; les forêts des parcs nationaux, réserves naturelles et autres zones protégées, notamment les zones d'intérêt scientifique, historique, culturel ou spirituel, les brise-vents, les rideaux abris et les allées d'arbres dont la superficie excède 0,5 hectare et la largeur 20 mètres ainsi que les plantations destinées à une exploitation forestière ou de protection tels que : plantations d'hévéas et de chêne-liège, peuplements de chênes. Sont exclus: les peuplements des systèmes de production agricole, par exemple les plantations d'arbres fruitiers et les systèmes d'agroforesterie. Sont également exclus de cette catégorie les arbres des jardins et parcs urbains.

* Polyculture signifie ici qu'il y a au moins deux récoltes par an.

Source : Glossaire de la FAO, <http://faostat.fao.org/site/375/default.aspx>

Annexe 2
Espèces de plantes cultivées, et nombre de leurs variétés,
prises en compte dans l'étude GAEZ, et grandes zones climatiques correspondantes

Espèces de plantes cultivées	Nombre de variétés	CLIMAT			
		<i>Boréal</i>	<i>Tempéré</i>	<i>Subtropical</i>	<i>Tropical</i>
<i>Céréales</i>	83				
Blé (avec dormance)	4	x	x	x	
Blé (sans dormance)	12	x	x	x	x
Riz japonica (inondé)	4		x	x	x
Riz indica (inondé)	4				x
Riz (non inondé)	3		x	x	x
Maïs (grain)	13		x	x	
Maïs (ensilage)	6	x	x	x	
Orge (avec dormance)	4	x	x	x	
Orge (sans dormance)	12	x	x	x	x
Sorgho	7		x	x	x
Millet perle	2			x	
Millet des oiseaux (<i>Setaria</i>)	4		x	x	
Seigle (avec dormance)	4		x	x	
Seigle (sans dormance)	4	x	x	x	
<i>Racines et tubercules</i>	8				
Pomme de Terre	4	x	x	x	x
Manioc	1				x
Patate douce	3			x	x
<i>Légumineuses</i>	17				
Haricots (<i>Phaseolus</i>)	9		x	x	x
Pois chiche	5			x	x
Haricots (<i>Vigna</i>)	3				x
<i>Oléagineux</i>	25				
Soja	6		x	x	x
Colza (avec dormance)	2		x	x	
Colza (sans dormance)	6		x	x	x
Arachide	3		x	x	x
Tournesol	6		x	x	x
Palmier à huile	1			x	x
Olive	1		x	x	
<i>Plantes à fibres</i>	7				
Coton	7		x	x	x
<i>Cultures sucrières</i>	6				
Canne à sucre	1			x	x
Betterave à sucre	5		x	x	
<i>Cultures fruitières</i>	1				
Banane plantain	1			x	x
<i>Cultures fourragères herbacées</i>	5				
Luzerne	1		x	x	
Graminées pâturées	4	x	x	x	x
Légumineuses pâturées	2	x	x	x	x
Total	154				

Source : étude GAEZ.

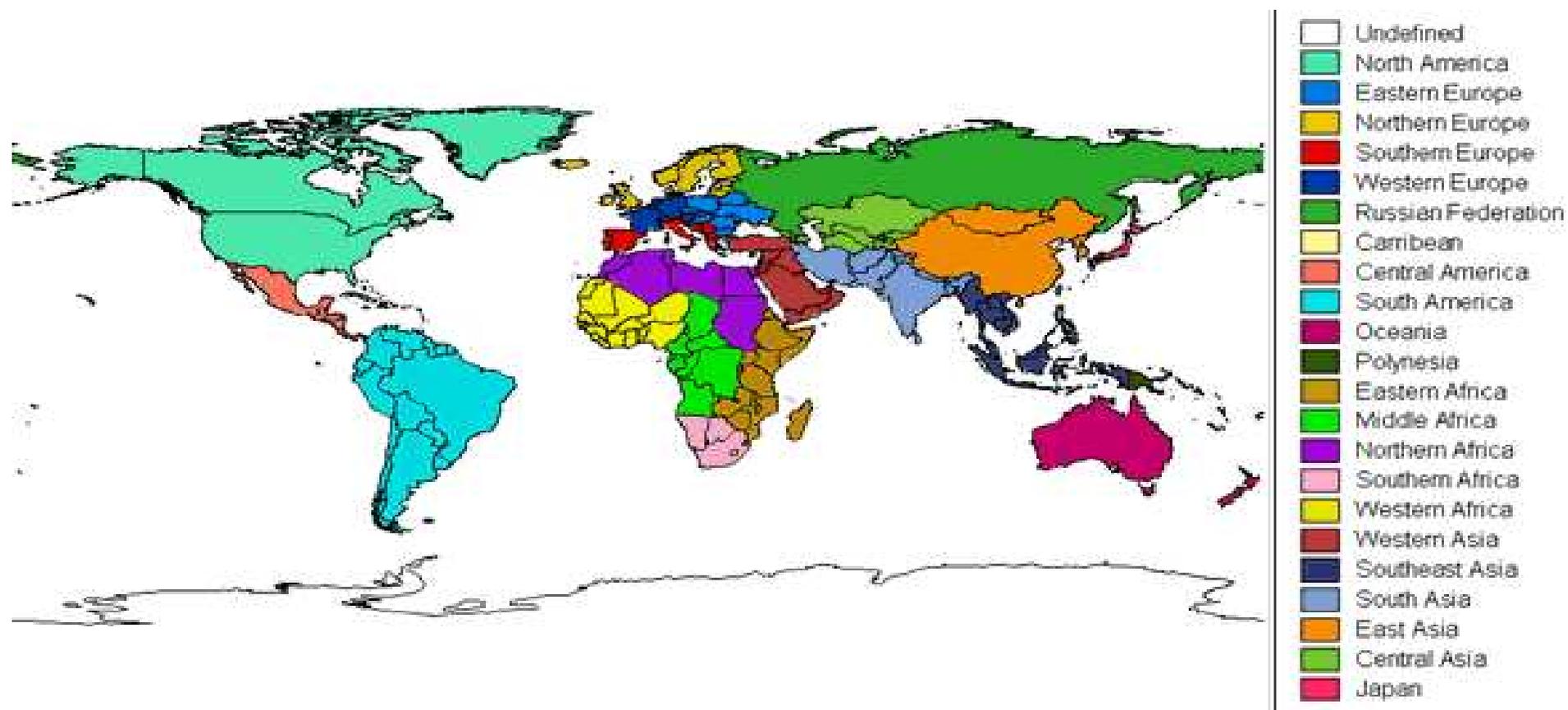
Annexe 3

Caractéristiques techniques, économiques et sociales des trois niveaux d'intrants et modes de gestion des cultures envisagés dans l'étude GAEZ

Niveaux d'intrants et gestion des cultures	Niveau d'intrant élevé, « gestion avancée »	Niveau d'intrant moyen, « gestion perfectionnée »	Niveau d'intrant bas, « gestion traditionnelle »
Caractéristiques			
Origine de l'eau	Pluviale ou irrigation	Pluviale ou irrigation	Pluviale uniquement
Destination des produits	Commercialisation	Surplus commercialisé	Autoconsommation, peu de surplus commercialisé
Intensité en capital	Elevée	Moyenne, crédit à des conditions accessibles.	Faible
Intensité en travail	Faible (travail familial éventuellement)	Moyenne, dont travail familial	Elevée, dont travail familial
Origine de l'énergie	Motomécanisation complète, y compris pour la récolte (le cas échéant).	Travail manuel et/ou traction animale avec des outils améliorés, éléments de motomécanisation.	Travail manuel
Conduite des cultures	Variétés à haut rendement, y compris hybrides ; application optimale d'engrais minéraux ; contrôle par des pesticides des ravageurs, maladies et adventices ; mesures optimales de conservation.	Variétés améliorées si disponibles ; paquets techniques appropriés, incluant des engrais minéraux et des pesticides ; périodes de jachère adéquates et certaines mesures de conservation.	Variétés traditionnelles, ni engrais minéraux, ni pesticides ; périodes de jachère ; mesures minimales de conservation.
Infrastructures	Accès au marché essentiel. Haut niveau des services de conseil et application des résultats de la recherche.	Un certain accès au marché nécessaire. Accès à des parcelles de démonstration et à des services de conseil.	Accessibilité du marché non nécessaire. Services de conseil inadéquats.
Tenure foncière	Etendue, d'un seul tenant	Petite, fragmentée dans certains cas	Petite, fragmentée
Niveau de revenu	Elevé	Moyen	Faible

Source : étude GAEZ (notre traduction).

Annexe 4
Carte mondiale des 22 régions considérées dans l'étude GAEZ



Source : étude GAEZ.

Annexe 5

Définitions et carte mondiale des 18 zones agro-écologiques considérées dans l'étude GAEZ

Durée de la période végétative	Régime d'humidité	Type de climat	Zone agro-écologique (ZAE)	Superficie des ZAE en pourcentage des terres émergées
0-59 jours	Aride	Tropical	ZAE 1	7,06 %
		Tempéré	ZAE 7	17,76 %
		Boréal	ZAE 13	4,72 %
60-119 jours	Semi-aride sec	Tropical	ZAE 2	2,31 %
		Tempéré	ZAE 8	5,46 %
		Boréal	ZAE 14	10,38 %
120-179 jours	Semi-aride humide	Tropical	ZAE 3	3,89 %
		Tempéré	ZAE 9	4,74 %
		Boréal	ZAE 15	8,97 %
180-239 jours	Sub-humide	Tropical	ZAE 4	5,12 %
		Tempéré	ZAE 10	5,94 %
		Boréal	ZAE 16	0,49 %
240-299 jours	Humide	Tropical	ZAE 5	6,25 %
		Tempéré	ZAE 11	3,24 %
		Boréal	ZAE 17	0,04 %
>300 jours	Très humide, croissance des plantes tout au long de l'année	Tropical	ZAE 6	9,79 %
		Tempéré	ZAE 12	3,82 %
		Boréal	ZAE 18	0,02 %

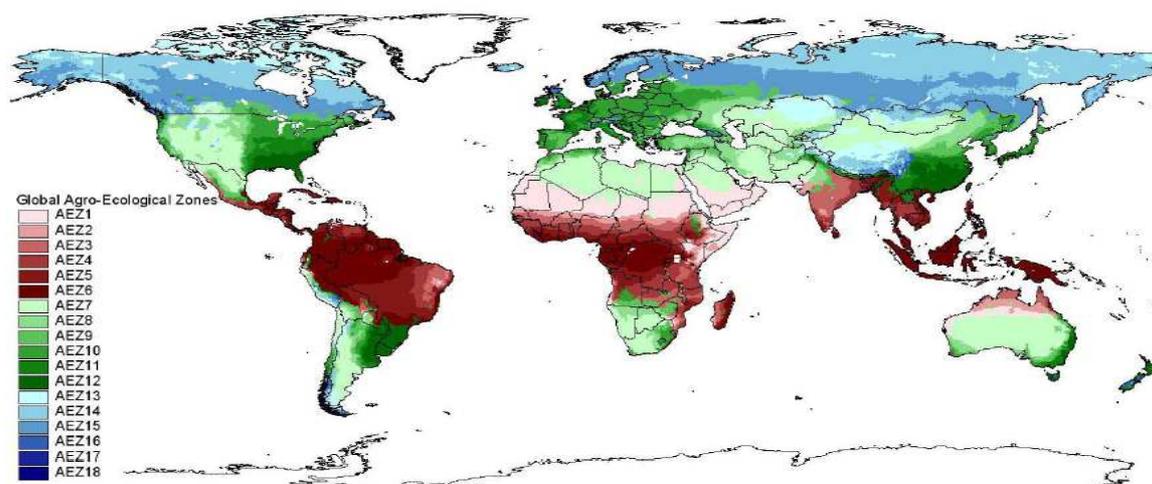


Figure 6. The SAGE global map of the 18 AEZs

Source : d'après Lee, Hertel et al., 2005 (notre traduction).

Annexe 6

Classification en 7 catégories des couvertures ou usages des terres d'après le SAGE (Classification reprise par GTAP)

Catégorie	Définition
Forêts	Présence d'arbres de plus de 2 mètres de hauteur et couverture de la canopée supérieure à 60%.
Zones arbustives	Présence de végétation ligneuse de moins de 2 mètres de hauteur et couverture de la canopée supérieure à 10%.
Zones herbeuses	Présence de végétation herbacée sur plus de 10% du sol et, si végétation ligneuse, couverture de la canopée inférieure à 60%.
Terres cultivées	Ensemble des terres arables et des terres sous cultures permanentes au sens de la FAO. Terres arables : terres affectées à des cultures temporaires, prairies temporaires à faucher ou à pâturer, cultures maraîchères et jardins potagers, et jachères temporaires (moins de cinq ans). Cultures permanentes : cultures semées ou plantées une fois, puis qui occupent le terrain pendant quelques années et ne doivent pas être replantées après chaque récolte annuelle, comme le cacao, le café et le caoutchouc. Cette catégorie comprend les arbustes destinés à la production de fleurs, les arbres fruitiers et les vignes, mais non les arbres destinés à la production de bois ou de grumes.
Prairies et pâturages permanents	Terres recouvertes de façon permanente (cinq ans ou plus) de plantes fourragères herbacées, soit cultivées soit à l'état naturel (herbages naturels ou pâturages) (définition de la FAO).
Infrastructures urbaines et autres	Bâtiments et autres constructions d'origine humaine.
Autres terres	Moins de 10% de couverture végétale tout au long de l'année (sols ou roches nus, neige, glace, eaux...)

Source : d'après SAGE et *Global Land Cover Characteristics Database*.

Annexe 7

Superficies des différentes catégories de terres cultivables, sous forêts ou hors forêts, dans les différentes régions du monde (millions d'hectares)

	Terres TC hors forêts	Terres TC sous forêts	Terres C hors forêts	Terres C sous forêts	Terres MC hors forêts	Terres MC sous forêts	Terres PC hors forêts	Terres PC sous forêts	Terres NC
Europe Nord	7,442	1,052	18,132	5,316	6,068	5,265	3,211	2,897	120,423
Europe Sud	7,085	0,381	15,215	1,855	18,743	2,253	10,524	0,91	70,529
Europe Ouest	18,443	0,189	28,965	1,314	13,56	1,216	3,812	0,353	37,03
Europe Est	23,228	0,284	53,066	1,696	41,164	2,81	8,608	0,874	34,095
Russie	25,73	7,421	69,959	41,852	67,61	23,898	40,342	10,234	1382,212
Amérique Nord	69,426	30,618	100,17	65,612	79,669	38,747	86,883	22,165	1423,385
Caraïbes	4,474	0,469	3,395	0,612	1,025	0,379	0,546	0,201	9,27
Amérique Centrale	16,708	5,425	12,408	6,237	9,248	3,395	7,734	1,898	179,399
Amérique Sud	184,002	109,274	194,028	153,619	85,226	60,633	50,749	65,195	854,132
Océanie	27,465	2,34	31,718	6,491	34,592	3,984	32,613	1,824	651,88
Polynésie	1,511	0,24	2,197	2,983	0,665	1,057	0,822	3,517	39,347
Afrique Est	104,597	2,297	101,236	3,888	56,755	2,19	37,594	1,72	320,492
Afrique Centrale	116,893	38,174	81,812	64,404	37,022	14,214	29,798	9,375	261,174
Afrique Sud	2,877	0,023	10,795	0,296	16,135	0,312	12,162	0,148	222,121
Afrique Ouest	87,764	1,63	71,438	3,131	24,799	1,255	12,785	0,638	422,676
Afrique Nord	47,343	0,324	28,286	0,1	18,81	0,141	12,064	0,132	681,877
Moyen Orient	1,044	0,024	7,1	0,227	21,173	0,805	10,922	0,24	383,516
Asie Sud-Est	43,339	7,872	43,154	17,067	7,246	4,704	9,762	10,07	288,412
Asie Sud	104,539	2,171	68,033	2,735	18,94	0,613	16,249	0,544	406,525
Asie Est	44,849	1,496	49,054	2,355	37,652	3,523	28,125	1,592	913,392
Asie Centrale	0,763	0,091	1,857	0,345	11,579	0,378	26,271	0,422	370,11
Japon	2,492	0,33	2,902	0,972	1,849	1,248	1,308	1,101	22,509

TC : très convenable à l'une au moins des 154 variétés de cultures de la base GAEZ ; C : convenable ; MC : modérément convenable

PC : peu convenable ; NC : non convenable.

Source : d'après étude GAEZ.

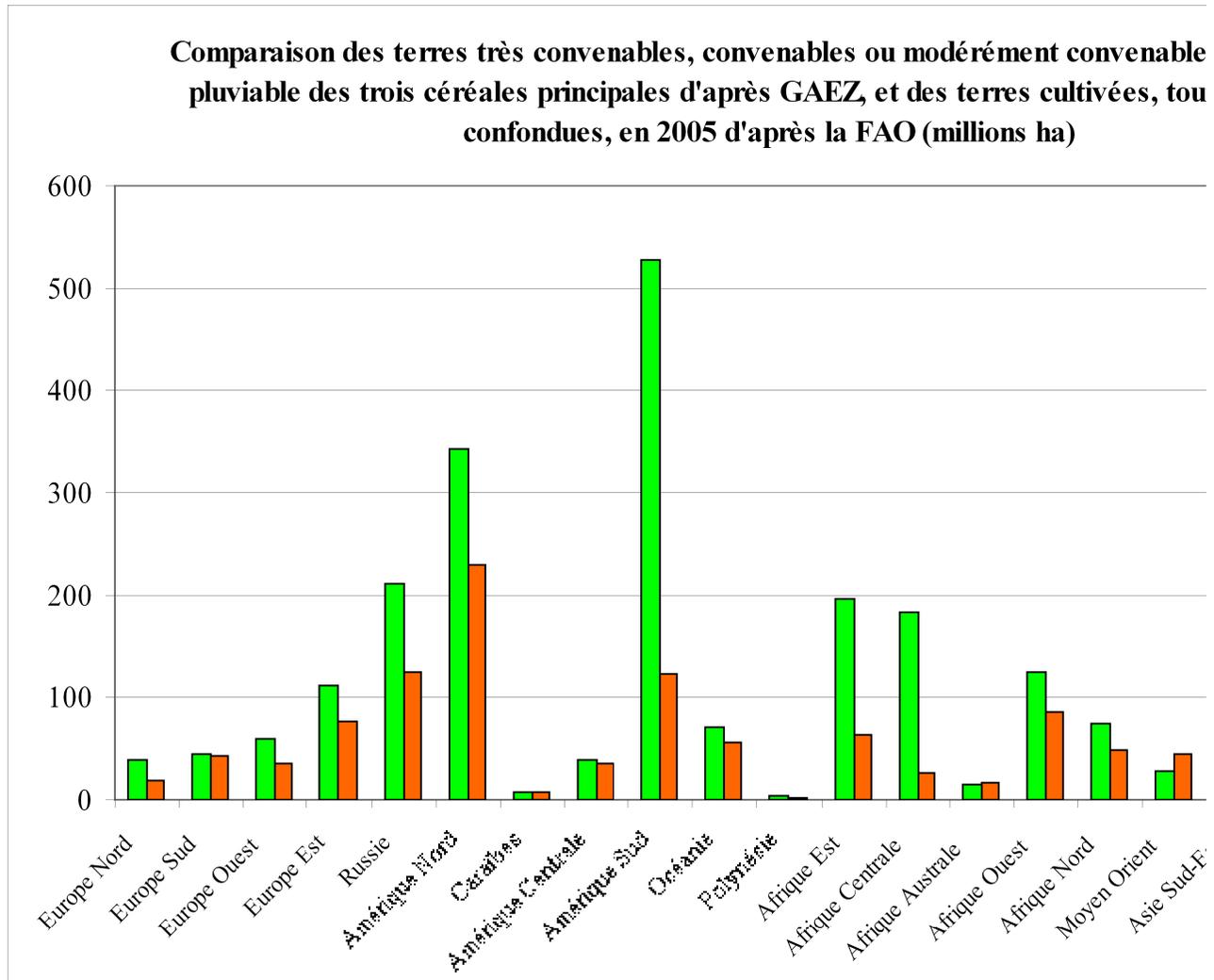
Annexe 8

Superficies des terres très convenables, convenables ou modérément convenables à la culture du blé, du riz ou du maïs, sous forêts ou hors forêts, dans les différentes régions du monde (millions d'hectares)

	Terres hors forêts	Terres sous forêts
Europe Nord	30	8,2
Europe Sud	40,1	3,5
Europe Ouest	56,8	2,1
Europe Est	107	3,9
Russie	154	57,5
Amérique Nord	227,2	114,8
Caraïbes	6,7	0,6
Amérique Centrale	29,7	9,4
Amérique Sud	341,7	186,6
Océanie	59,7	10,5
Polynésie	2,3	0,6
Afrique Est	190,8	5,4
Afrique Centrale	149,6	33,8
Afrique Sud	15,1	0,5
Afrique Ouest	121,2	2,1
Afrique Nord	73,5	0,5
Moyen Orient	27,6	1
Asie Sud-Est	61,3	10,5
Asie Sud	150,5	3,4
Asie Est	102,4	5,7
Asie Centrale	11,2	0,7
Japon	6,9	2,3

Source : étude GAEZ

Annexe 9



Source : d'après étude GAEZ.

Annexe 10

Terres cultivables et terres cultivées dans le monde et dans 21 régions en 1992 d'après le SAGE (en millions d'hectares)

	Terres cultivables	Terres cultivées en 1992	Terres cultivables non cultivées en 1992
Afrique de l'Est	280,9	76,3	204,6
Afrique Centrale	195,4	20,4	174,9
Afrique du Nord	102,9	28,0	74,9
Afrique australe	48,9	21,3	27,6
Afrique de l'Ouest	123,9	27,5	96,4
Amérique Centrale	152,7	39,1	113,6
Amérique du Nord	500,2	272,8	227,4
Amérique du Sud	715,9	135,9	580,0
Asie de l'Est	383,3	223,3	160,0
Asie Centrale	443,2	302,4	140,7
Asie du Sud-Est	198,7	116,3	82,4
Asie de l'Ouest	89,9	43,9	46,0
Australie et Nouvelle Zélande	179,8	36,9	142,9
Caraïbes	17,1	7,2	9,9
Europe de l'Est	381,1	337,9	43,2
Europe du Nord	26,7	28,2	-1,6
Europe du Sud	91,6	49,1	42,6
Europe de l'Ouest	68,1	38,3	29,8
Mélanésie	21,8	0,7	21,1
Micronésie	0,0	0,0	0,0
Polynésie	0,0	0,0	0,0
TOTAL	4022,1	1805,5	2216,7

Source : d'après SAGE.

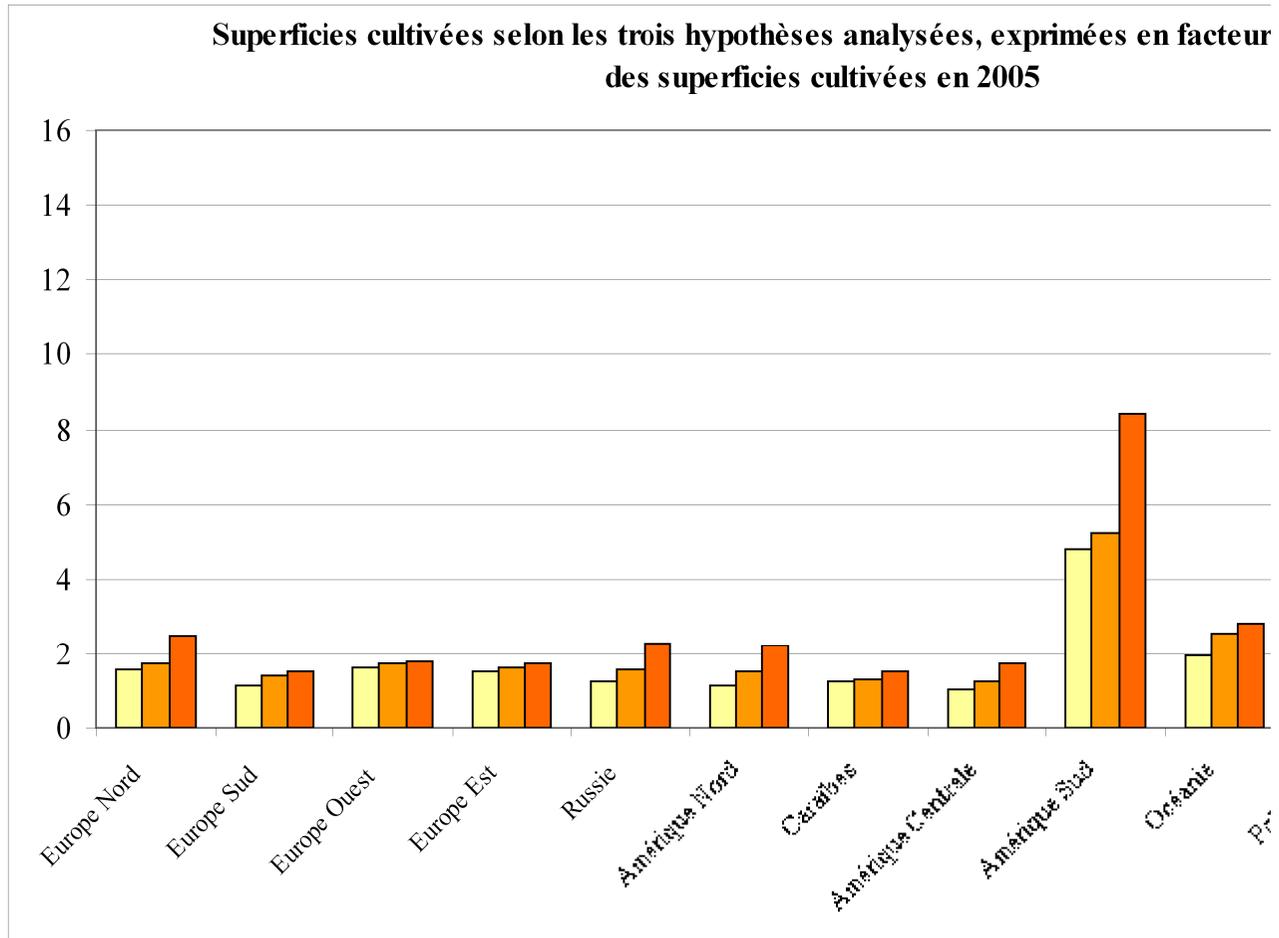
Annexe 11

Superficies cultivées en 2005 d'après la FAO et superficies cultivées selon les trois hypothèses analysées (millions d'hectares)

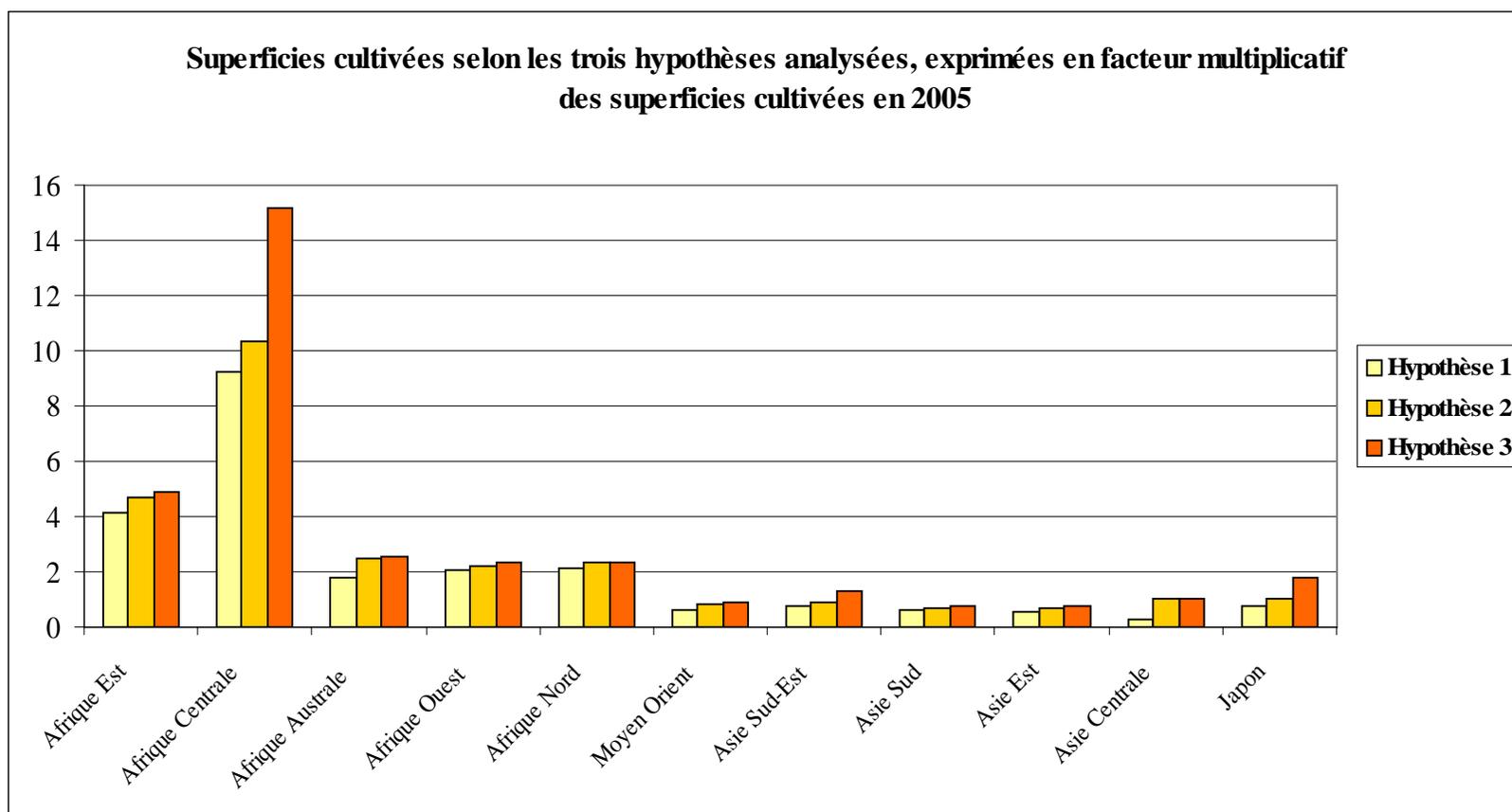
	Superficie cultivée en 2005 d'après la FAO	Superficie pouvant être cultivée dans l'hypothèse 1	Superficie pouvant être cultivée dans l'hypothèse 2	Superficie pouvant être cultivée dans l'hypothèse 3
Europe Nord	18,725	29,069	32,280	46,810
Europe Sud	42,255	48,718	59,242	64,641
Europe Ouest	35,497	56,987	60,799	63,871
Europe Est	76,300	116,453	124,729	129,863
Russie	123,581	155,099	195,773	279,708
Amérique Nord	229,292	257,672	344,555	501,697
Caraïbes	7,447	9,121	9,667	11,328
Amérique Centrale	35,501	36,672	44,406	61,361
Amérique Sud	121,917	584,559	635,308	1024,029
Océanie	54,771	106,889	139,502	154,141
Polynésie	1,623	13,018	13,840	21,637
Afrique Est	62,283	255,583	293,177	303,272
Afrique Centrale	26,116	241,107	270,905	397,072
Afrique Sud	17,438	31,150	43,312	44,091
Afrique Ouest	85,592	178,804	191,589	198,243
Afrique Nord	47,846	100,829	112,893	113,590
Moyen Orient	45,107	26,913	37,835	39,131
Asie Sud-Est	97,528	75,322	85,084	124,797
Asie Sud	230,866	147,018	163,267	169,330
Asie Est	162,311	86,347	114,472	123,438
Asie Centrale	36,003	10,379	36,650	37,886
Japon	4,692	3,544	4,852	8,503

Source : nos calculs, d'après FAO et étude GAEZ.

Annexe 12

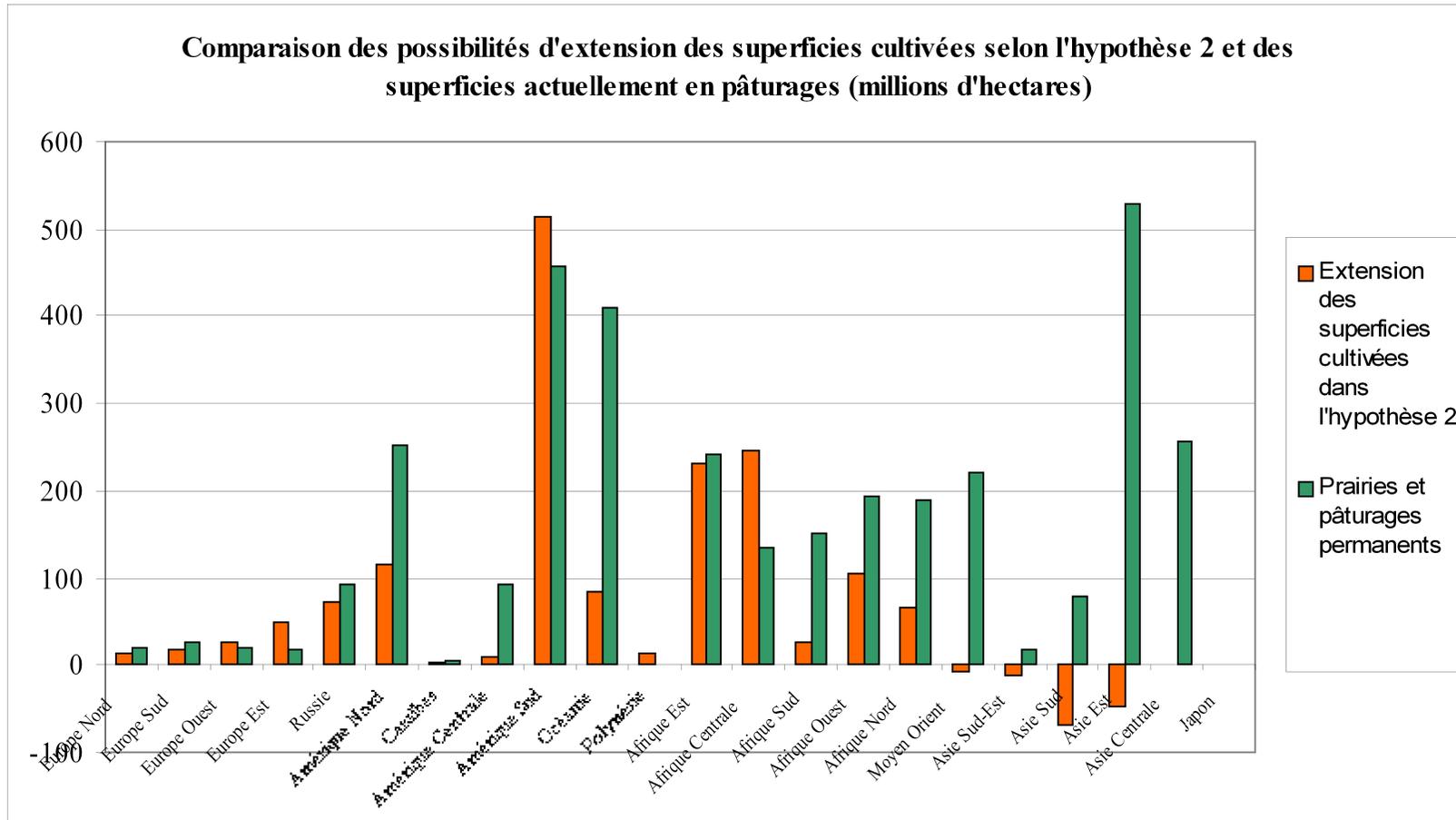


Annexe 12 (suite)



Source : nos calculs, d'après FAO et étude GAEZ.

Annexe 13



Source : nos calculs et FAO.