



INRAE



Place des agricultures européennes dans le monde à l'horizon 2050

Entre enjeux climatiques et défis de la sécurité alimentaire mondiale

RÉsumé de l'étude conduite par INRAE - Février 2020

Le changement climatique a des effets sur la production agricole, qui affectent en cascade la sécurité alimentaire, les échanges mondiaux et l'environnement. Ces effets sont multiples et, à plus d'un titre, incertains. Dans un contexte géopolitique mouvant, dont l'instabilité pourrait être accentuée par le changement climatique, les contributions des différentes régions du monde à la sécurité alimentaire mondiale sont susceptibles d'être modifiées, les orientations agricoles et les stratégies commerciales régionales pouvant évoluer assez profondément.

En Europe comme dans les autres régions du monde, l'agriculture est confrontée au double défi que représentent la réduction de ses impacts environnementaux et le maintien d'un niveau de production suffisant pour faire face aux évolutions des demandes domestiques et mondiale en produits agricoles. Parallèlement aux modifications des conditions de production, de fortes mutations des régimes alimentaires sont susceptibles d'affecter la demande en produits agricoles. Au-delà de leur impact sur la santé des consommateurs, de telles transitions peuvent être des facteurs significatifs d'accentuation ou d'atténuation du changement climatique. C'est donc pour examiner les évolutions possibles de la place des productions agricoles européennes sur les marchés agricoles mondiaux à l'horizon 2050, compte tenu des incertitudes relatives aux effets du changement climatique et du progrès technique, des contraintes liées à l'extension des surfaces agricoles et des impacts des transitions alimentaires, que l'association Pluriagri¹ a fait appel à INRAE.

Ce travail de modélisation montre qu'à l'horizon 2050, le besoin en terres cultivées de certaines régions européennes – essentiellement l'Europe de l'Est, la Pologne et l'Allemagne – pourrait diminuer par rapport à aujourd'hui compte tenu des évolutions de la demande domestique en produits agricoles et des rendements végétaux. Le « surplus de terres » dont disposeraient ainsi ces régions serait néanmoins bien inférieur à celui que pourraient dégager les pays de l'ex-URSS (et le Canada-USA en cas d'adoption mondiale de régimes alimentaires plus favorables à la santé). Il serait également trop limité pour espérer compenser l'importante expansion des surfaces cultivées dans certaines régions du monde – notamment en Afrique subsaharienne – possiblement au détriment d'écosystèmes naturels. L'Europe pourrait toutefois saisir cette opportunité, soit pour développer la culture d'oléo-protéagineux – permettant de réduire la dépendance européenne aux importations de protéines végétales en limitant la déforestation induite par l'expansion de la culture du soja (notamment en Amérique latine) –, soit pour faire évoluer ses systèmes de culture vers des systèmes agro-écologiques tout en maintenant les volumes de production nécessaires à la satisfaction de la demande. Les marges de manœuvre seraient nettement plus faibles en France, au Royaume-Uni et dans le reste de l'Europe (pays nord-européens, pays du Benelux et Irlande). Et celle de l'Europe du Sud serait vraisemblablement limitée dans un contexte où l'accentuation des stress hydriques est susceptible d'altérer les rendements. Enfin, la croissance des surfaces toujours en herbe pourrait réduire les marges de manœuvre, en Europe comme dans le reste du monde.

Des projections à 2050 à l'aide d'un modèle de bilan

Cette étude prolonge les travaux prospectifs existants sur l'évolution de la sécurité alimentaire mondiale – tels que ceux conduits par l'Inra, le Cirad, la FAO, l'IIASA ou encore l'IFPRI² – en adoptant un regard plus précis sur l'Europe. Habituellement considérée comme un ensemble homogène dans la littérature prospective mondiale, l'Europe est ici subdivisée en huit régions afin de tenir compte de la diversité des agricultures européennes

(Figure 1). On cherche à examiner l'évolution du potentiel de ces agricultures à la fois vis-à-vis de leur contribution à la sécurité alimentaire mondiale, appréhendée sous l'angle de la *disponibilité des aliments*, et des enjeux environnementaux liés à l'*extension des surfaces agricoles*, pouvant engendrer une régression des espaces naturels ou forestiers.

Encadré 1. Organisation de l'étude

Cette étude a été réalisée par INRAE à la demande et grâce au soutien de l'association Pluriagri, en adoptant les principes et la méthode établis par sa Direction de l'Expertise scientifique collective, de la Prospective et des Études (DEPE) pour la conduite des expertises scientifiques collectives (ESCo). Ces principes sont décrits dans un guide accessible sur le site internet d'INRAE³.

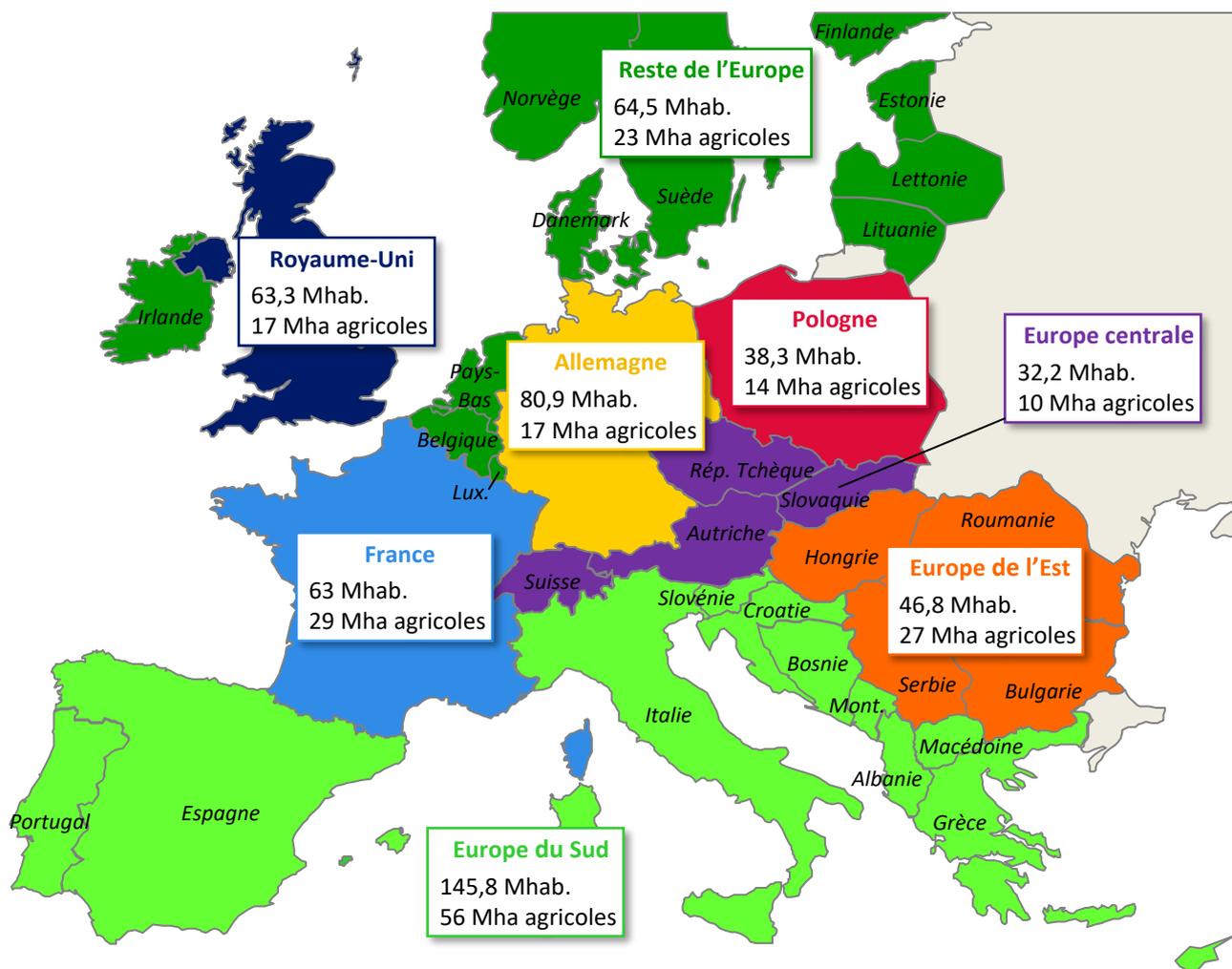
Un collectif d'une vingtaine d'experts et de contributeurs scientifiques d'origines institutionnelles diverses, issus de disciplines complémentaires (climatologie, agronomie, zootechnie, génétique, écophysiologie, pédologie, phytopathologie...) a été mobilisé par INRAE pour réaliser le volet d'analyse de la littérature scientifique internationale de l'étude. En parallèle, un groupe de scénarisation, composé d'opérateurs et de quelques experts scientifiques, a été constitué par INRAE et Pluriagri afin d'épauler l'équipe projet dans l'élaboration des hypothèses d'évolution des différentes variables du système et dans la construction des scénarios. Enfin, une équipe projet composée d'Anaïs Tibi (chef de projet), Philippe Debaeke, Hervé Guyomard et Bertrand Schmitt (responsables scientifiques), Agneta Forslund et Elodie Marajo-Petizon (responsables de la modélisation) a assuré la conduite du travail.

¹ Pluriagri est une association formée par des acteurs des filières des grandes cultures (Avril, Confédération générale des planteurs de betteraves, Unigrains) et le Crédit Agricole S.A.

² Respectivement, Organisation des Nations-unies pour l'alimentation et l'agriculture, *International Institute for Applied Systems Analysis* et *International Food Policy Research Institute*.

³ <https://www.inrae.fr/actualites/quels-principes-inrae-conduit-il-expertise-ou-etude-scientifique-collective>

Figure 1. Composition, population (en millions d'habitants) et surfaces agricoles (en millions d'hectares) des huit régions européennes



Source : d'après FAOSTAT, 2017

Les scénarios élaborés et quantifiés dans cette étude ne cherchent ni à « prédire » le futur, ni même à décrire les évolutions les plus probables. Leur objectif est d'identifier les éventuelles marges de manœuvre dont pourraient disposer les agricultures européennes et mondiales pour concilier sécurité alimentaire et limitation des pressions sur les milieux naturels et forestiers, dans un monde hypothétique où les mécanismes économiques, sociaux et politiques *actuels* prévaudraient toujours en 2050.

C'est dans ce contexte général, qui s'apparente à la trajectoire socio-économique « *Middle Of The Road* » (SSP2) définie par le GIEC pour son 5^e rapport d'évaluation⁴, que les évolutions des variables clés des systèmes agricoles et alimentaires mondiaux ont été projetées entre l'année de base « 2010 » (moyenne 2009-2011) et l'horizon de projection 2050 : la demande en produits agricoles (essentiellement déterminée par la démographie et les évolutions des régimes alimentaires), les rendements (végétaux et animaux), les intensités culturelles

(rapport entre surfaces récoltée et cultivée) et les disponibilités en terres cultivables. Si les tendances des deux dernières décennies fondent les projections, leur prolongement a été ajusté pour tenir compte d'incertitudes susceptibles de moduler les trajectoires d'évolution future des variables.

Un ensemble de simulations a été réalisé à partir de ces hypothèses à l'aide d'un modèle de bilan, GlobAgri-AE2050 (cf. Encadré 2), afin de traduire ces scénarios en termes d'évolution des surfaces, de la production et des échanges agricoles pour chaque région du monde. Initialement élaboré dans le cadre de la prospective Agrimonde-Terra conduite par l'Inra et le Cirad (Le Mouél *et al.*, 2018) et amélioré pour les besoins de la présente étude, ce modèle simule l'équilibre entre la disponibilité (production et commerce international) et les besoins (alimentation humaine et animale, utilisations non alimentaires) de chaque produit agricole (38 produits dont 5 fourrages) dans les 21 régions du monde considérées (dont 8 européennes).

⁴ Scénario que l'on peut associer à la trajectoire d'émissions de gaz à effet de serre RCP6.0, de type « laisser faire » (RCP pour *Representative Concentration Pathways*, correspondant à un forçage radiatif de +6,0 W/m² pour l'année 2100).
GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

Encadré 2. GlobAgri-AE2050 : un modèle de bilan de produits agro-alimentaires au niveau mondial

GlobAgri-AE2050 est un modèle de bilan ressources - emplois des produits agricoles et agro-alimentaires. Dans chacune des 21 régions et pour chaque produit (et fourrage), le modèle définit un bilan telle que la production domestique augmentée des importations soit égale à la somme des utilisations domestiques (alimentation humaine, alimentation animale, autres utilisations), des exportations, de la variation des stocks et des pertes et gaspillages. Les productions domestiques sont calculées de façon à répondre à la demande alimentaire humaine et non alimentaire, complétée de la demande en produits agricoles pour l'alimentation animale. Cette dernière, déterminée par l'évolution de la demande en produits animaux dans les régimes alimentaires humains, combinée aux évolutions des systèmes de production animaux et des efficacités animales, est calculée par le modèle ; il s'agit donc d'une variable endogène.

La recherche de l'équilibre ressources - emplois de chaque région pour chaque produit à l'horizon temporel fixé (ici, 2050) dépend des terres cultivables disponibles dans chaque région. *Dans le cas où les contraintes en terres cultivables sont suffisamment souples pour ne limiter aucune expansion des terres cultivées en 2050*, le bouclage du modèle est assuré en égalisant, pour chaque produit, la somme des ressources à la somme des emplois dans chaque région et au niveau mondial. Les surfaces récoltées se déduisent à partir des productions via les rendements végétaux. Les surfaces cultivées s'obtiennent ensuite à l'aide des coefficients d'intensité culturale. Les offres et les demandes domestiques étant définies, il est alors possible de calculer les importations et les exportations brutes moyennant leurs modalités de calcul dans le modèle. Le bouclage du modèle est modifié *quand une ou plusieurs régions saturent leur contrainte de terres cultivables en 2050* (besoin en surfaces cultivées excédant la disponibilité en surfaces cultivables). Dans ce cas, l'équilibre est obtenu d'abord en réduisant les parts de marché de ces régions en matière d'exportations agricoles brutes, puis, si ce premier mécanisme d'ajustement ne suffit pas à ce que les surfaces cultivées de la région soient maintenant plus faibles que ses surfaces cultivables, en augmentant leurs taux d'importations agricoles brutes.

Des scénarios intégrant des ruptures dans les régimes alimentaires et tenant compte des incertitudes sur les rendements végétaux à l'horizon 2050

Les **régimes alimentaires** et les **rendements végétaux**, deux des variables clefs de l'évolution des systèmes agricoles et alimentaires mondiaux, font ici l'objet d'hypothèses différenciées selon les scénarios afin d'apporter un éclairage sur leur poids

dans l'évolution des surfaces, des productions et des échanges mondiaux à l'horizon 2050. Plusieurs définitions des surfaces cultivables, agissant comme une contrainte dans le modèle, ont également été explorées⁵.

Deux évolutions contrastées des régimes alimentaires : tendancielle ou plus favorable à la santé

La demande alimentaire humaine, combinaison de la démographie et des régimes alimentaires, est le déterminant majeur des besoins domestiques en produits agricoles⁶. En écho aux débats sur les impacts sanitaires et environnementaux des régimes alimentaires, deux options d'évolution de ces régimes ont été envisagées à partir des hypothèses adoptées par la FAO (2012) et dans Agrimonde-Terra. La Figure 2 présente l'évolution de la demande alimentaire totale dans le monde à l'horizon 2050 selon ces deux hypothèses.

Les régimes dits « tendanciels » de 2050 résultent du prolongement des tendances régionales passées. Ils se traduisent par la stabilisation des apports caloriques individuels dans les régions développées, et leur augmentation dans les régions émergentes et en développement. Cette augmentation serait néanmoins insuffisante pour combler le nécessaire rattrapage nutritionnel de l'Afrique subsaharienne.

Les régimes dits « sains » illustrent une transition radicale et généralisée vers des régimes plus favorables à la santé (au sens des recommandations de l'Organisation mondiale de la Santé). Ces régimes se caractérisent à la fois par des consom-

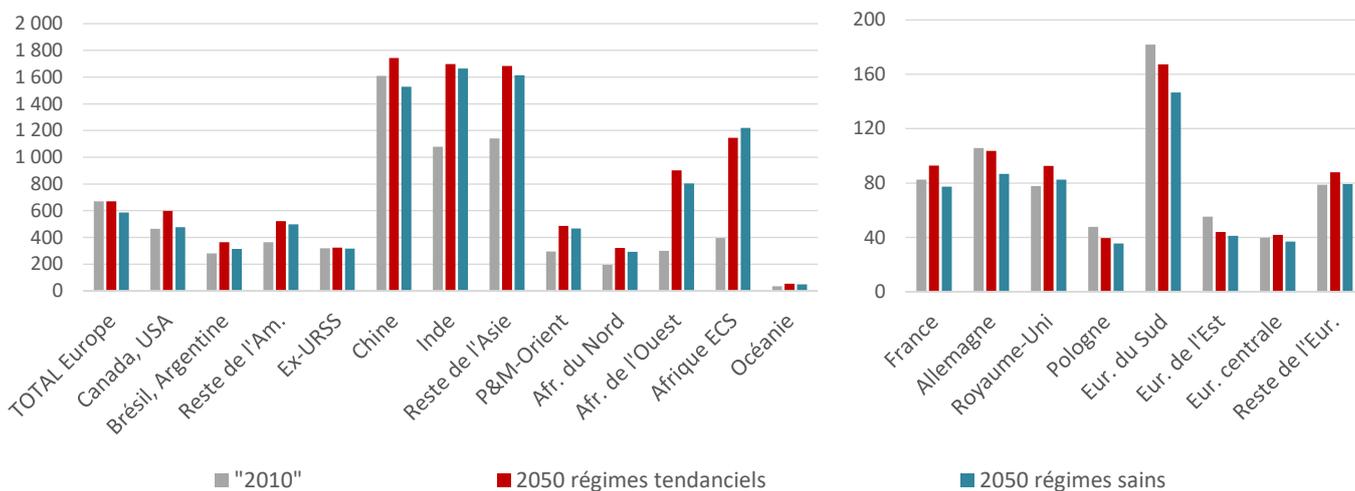
mations à la hauteur des besoins énergétiques quotidiens, et leur réorientation vers une diète plus équilibrée et diversifiée : la consommation de produits animaux diminuerait en Europe et dans les autres régions développées par rapport à « 2010 » ; elle augmenterait en Afrique subsaharienne, en Inde, et, plus modérément, en Afrique du Nord. L'adoption généralisée de régimes « sains » tendrait ainsi à réduire les disparités régionales qui persisteraient avec des régimes « tendanciels ».

Quelle que soit l'hypothèse adoptée quant à l'évolution des régimes à l'horizon 2050, la demande alimentaire exploserait en Afrique subsaharienne, en Inde et dans le reste de l'Asie, compte tenu de leur démographie. Dans la plupart des autres régions, la poursuite tendancielle des consommations induirait une augmentation de la demande alimentaire, que l'adoption de régimes « sains » atténuerait, voire annulerait (Chine, Canada-USA, Brésil-Argentine). Du fait du déclin démographique de la Pologne, de l'Europe de l'Est et de l'Europe du Sud, l'Europe verrait sa demande alimentaire totale stagner sous hypothèse de régimes « tendanciels » et diminuer sous hypothèse de régimes « sains ».

⁵ Deux réflexions complémentaires ont été menées : l'une pour projeter les usages énergétiques des matières premières agricoles, l'autre pour améliorer la cohérence des efficacités animales (quantité d'aliments nécessaire pour produire une unité de chaque production animale).

⁶ La demande totale en produits agricoles intègre la demande pour l'alimentation animale. Cette dernière découlant de la demande alimentaire humaine, elle est une variable endogène au modèle (Cf. Encadré 2).

Figure 2. Demande alimentaire en Europe et dans le monde en « 2010 » et en 2050 (en milliards de kcal)



Intégrer l'incertitude associée à l'évolution des rendements végétaux

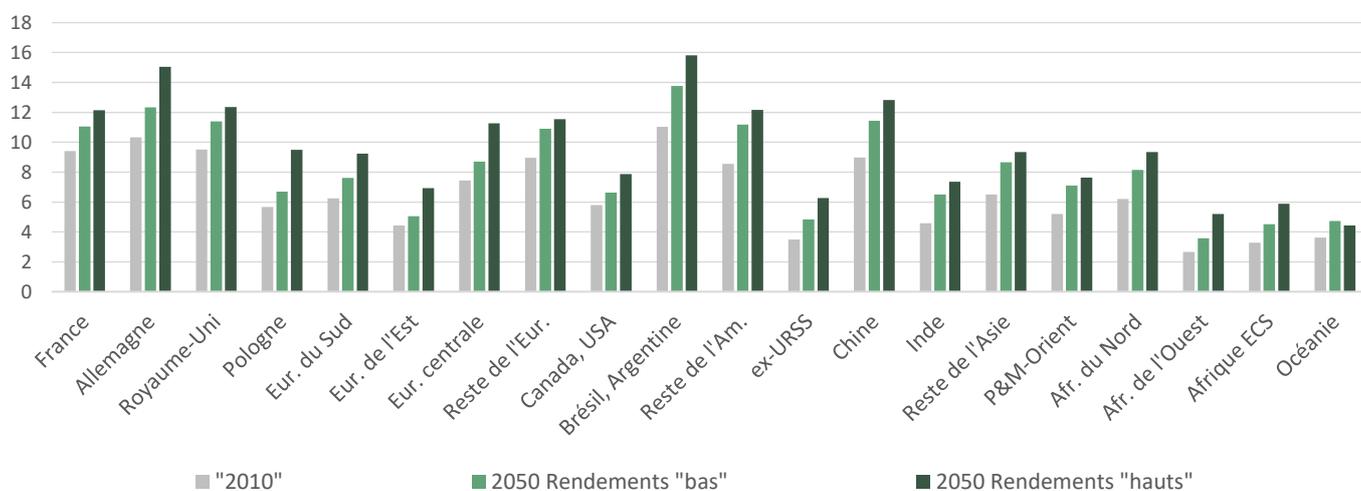
Les rendements végétaux sont un autre paramètre clef de l'équation alimentaire mondiale en 2050, car ils déterminent la capacité de chaque région à couvrir, ou non, ses besoins. On a mis l'accent, dans cette étude, sur la caractérisation des incertitudes relatives à l'évolution des rendements des cultures à l'horizon 2050 sous les effets conjoints du changement climatique et des évolutions techniques agricoles (sélection variétale, progrès technique, pratiques agricoles, etc.).

L'effet du changement climatique a été estimé à l'aide d'une relation statistique établie à partir d'une analyse quantitative de la littérature scientifique de type méta-analyse (Makowski *et al.*, en révision). Il intègre les effets des variations de la température moyenne, des précipitations moyennes annuelles et de la concentration atmosphérique en CO₂. L'effet des évolutions techniques sur les rendements a été estimé d'après les projections à 2050 proposées par la FAO (2012, 2018) dans ses travaux sur la sécurité alimentaire mondiale.

Deux grandes sources d'incertitudes pèsent sur les rendements futurs. D'un côté, il est difficile de se prononcer sur la dynamique des évolutions techniques à l'horizon 2050. De l'autre, la capacité des cultures à valoriser l'effet fertilisant du CO₂ « au champ »⁷ est intimement liée à la satisfaction de leurs besoins azotés et hydriques, ainsi qu'à la génétique, composantes dont l'évolution est difficile à caractériser.

Pour tenir compte de ces incertitudes, les simulations ont été réalisées en utilisant deux jeux de projections (Figure 3). Les rendements « hauts », permis par le rythme soutenu des évolutions techniques et la pleine valorisation de l'effet CO₂ par les plantes, reviennent à prolonger jusqu'à 2050 le ralentissement de la croissance moyenne du rendement observé ces deux dernières décennies. Les rendements « bas » résultent d'évolutions techniques plus modérées et d'une absence de valorisation de l'effet CO₂ par les plantes.

Figure 3. Rendement moyen régional (t/ha) en « 2010 » et en 2050 (toutes cultures hors fourrages)



⁷ Augmentation du taux de photosynthèse chez les plantes résultant de l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂.

Un effet mineur du changement climatique sur les superficies en terres cultivables à l'horizon 2050

La façon dont sont définies les surfaces cultivables joue un rôle clef dans le modèle GlobAgri-AE2050 puisque ce sont elles qui limitent l'extension potentielle des terres cultivées. Elles ont ici été projetées selon la procédure *Global Agro-Ecological Zones* mise en œuvre par l'IIASA et la FAO, qui tient compte des effets du changement climatique sur le potentiel agro-climatique des sols. La définition retenue dans les simulations considère comme cultivable toute surface dont le potentiel agro-climatique est favorable à l'implantation d'une culture (annuelle ou pérenne), quel que soit son usage actuel.

Des scénarios de référence mettant en lumière les marges de manœuvre de certaines régions européennes

Pour chaque région du monde, GlobAgri-AE2050 (Cf. Encadré 2) détermine le besoin en surfaces cultivées et en prairies permanentes nécessaires (i) pour répondre à la demande domestique en produits agricoles, (ii) tout en maintenant, si possible, ses parts de marchés à l'export et ses taux d'importations, et (iii) en respectant les conditions techniques fixées de façon exogène en matière de productions végétales (rendements, intensités culturales) et animales (efficacités) et de disponibilité en surfaces cultivables. Dans le cas où une région ne disposerait pas des surfaces cultivables suffisantes pour satisfaire ces critères, le modèle ajuste les niveaux d'échanges en commençant par réduire les exportations régionales, puis en augmentant les importations si besoin. La modification de la place de la région sur les marchés mondiaux qui en résulte se répercute alors sur les régions disposant de suffisamment de surfaces cultivables. Notons qu'aucune hypothèse normative n'a été formulée quant à l'évolution des stratégies et alliances commerciales internationales.

Deux scénarios dits de référence, se distinguant selon la nature du régime alimentaire adopté en 2050 ont été chacun simulés avec les deux hypothèses d'évolution des rendements (« bas » et

« hauts »). Les résultats de ces quatre simulations sont résumés ci-après. Les simulations permettent (i) de décomposer les effets de chacune des variables du système et (ii) de mettre en évidence les régions pouvant disposer de marges de manœuvre en matière de surfaces cultivables ou, à l'inverse, celles risquant de connaître des situations foncières tendues, notamment lorsque l'on considère l'évolution conjointe des surfaces cultivées et de prairies permanentes.

Compte tenu de nos hypothèses d'évolutions des composantes de la demande alimentaire et de l'offre agricole, et notamment de la définition relativement souple des surfaces cultivables, seules les régions Afrique du Nord et Proche & Moyen-Orient (déjà sujettes à de fortes tensions foncières en « 2010 ») sont limitées par leur disponibilité en terres, et ce, dans tous les scénarios de référence simulés. Toutes les autres régions disposent de suffisamment de terres cultivables pour étendre autant que de besoin leurs surfaces cultivées, y compris celles consacrées aux fourrages cultivés. En conséquence, le modèle estime assez « mécaniquement » la production sans tenir compte d'ajustements possibles en lien avec les fluctuations des prix des matières agricoles.

de la très forte croissance de leur demande alimentaire, résultant du couplage entre explosion démographique et rattrapage nutritionnel (bien que ce dernier soit encore incomplet avec les régimes « tendanciels »). Compte tenu de leur faible niveau actuel, les évolutions, même optimistes, des rendements végétaux dans ces régions ne permettraient de faire face à cette explosion de la demande qu'au prix d'une très forte extension des terres cultivées (jusqu'à un doublement de la surface actuelle sous hypothèse d'évolution modérée des rendements). L'Inde se trouverait dans une situation assez comparable, bien que moins prononcée : les évolutions des composantes de la demande alimentaire y seraient un peu moins prononcées et donc un peu plus facilement compensées par les évolutions des rendements. Néanmoins, compte tenu de ses particularités géographiques, le besoin en surfaces cultivées de l'Inde approcherait fortement sa contrainte en terres cultivables en 2050, notamment sous hypothèse basse des rendements végétaux. Enfin, les deux

Des évolutions de surfaces cultivées contrastées selon les régions du monde

Lorsque les régimes alimentaires évoluent de façon tendancielle, les simulations montrent une **tendance à l'extension des surfaces cultivées au niveau mondial**. L'amplitude de cette extension est néanmoins très dépendante de l'incertitude relative à la dynamique d'évolution des rendements : selon que ces derniers sont « bas » ou « hauts » en 2050, elle varierait respectivement de **+223 à -11 millions d'hectares (Mha) relativement aux 1540 Mha cultivés en « 2010 »**. Ces évolutions sont cohérentes avec celles issues des travaux portant sur la sécurité alimentaire mondiale et qui intègrent les impacts et défis liés au changement climatique (de 0 à +200 Mha par rapport à « 2010 » selon les travaux considérés dans la revue de Le Mouél et Forslund, 2017). Ces résultats agrégés masquent cependant de grandes disparités entre régions du monde (Figure 4).

D'un côté, **certaines régions verraient leurs surfaces cultivées augmenter**, parfois considérablement, d'ici 2050. Les régions d'Afrique subsaharienne en constituent les cas extrêmes, du fait

régions d'Amérique latine (Brésil-Argentine et reste de l'Amérique), ainsi que le reste de l'Asie (hors Chine) et l'Océanie auraient également besoin d'accroître leurs surfaces cultivées.

À l'opposé, **d'autres régions verraient leur besoin en terres cultivées diminuer par rapport à « 2010 », dégageant ainsi ce que l'on peut qualifier de « surplus de terres ».** C'est notamment le cas de l'ex-URSS, qui pourrait réduire de l'ordre d'1/3 sa surface cultivée, essentiellement du fait de la stagnation de sa population.

Ces deux situations seraient également représentées en Europe (Figure 5). Des « surplus de terres » apparaîtraient en Europe de l'Est, en Pologne et en Allemagne (et, dans une moindre mesure, en Europe centrale). La France et le reste de

l'Europe auraient au contraire besoin de davantage de surfaces cultivées, celles du Royaume-Uni étant maintenues à leur niveau de « 2010 ».

Les deux cas de l'Europe du Sud et de la Chine, deux régions importatrices nettes en « 2010 », sont à traiter à part. Le fonctionnement de GlobAgri-AE2050 conduirait ces deux régions à réduire leurs surfaces cultivées par rapport à « 2010 » tout en maintenant des niveaux élevés d'importations. Or, il est possible, voire probable si cette option s'avère économiquement plus rentable et à condition que les ressources en eau le leur permettent, que ces régions maintiennent l'extension de leurs surfaces cultivées au moins au niveau de « 2010 » pour réduire leur dépendance aux importations agricoles.

Figure 4. Besoins en surfaces cultivées par région du monde à l'horizon 2050 (en millions d'ha)

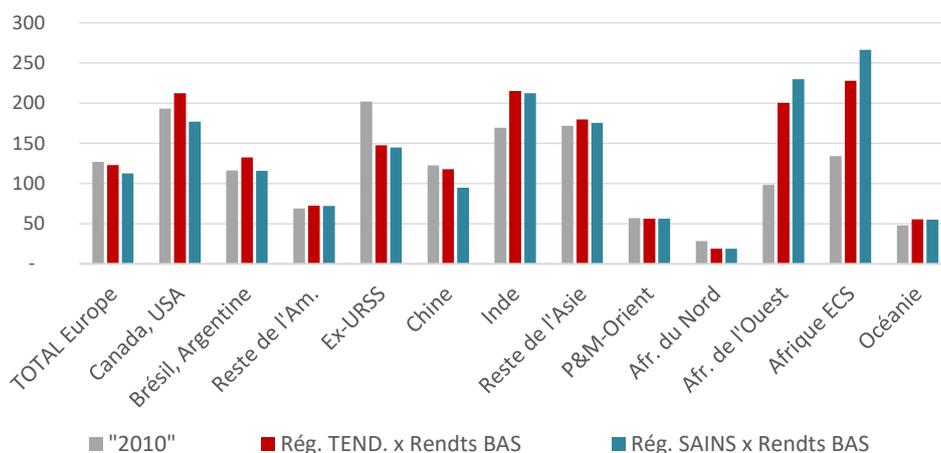
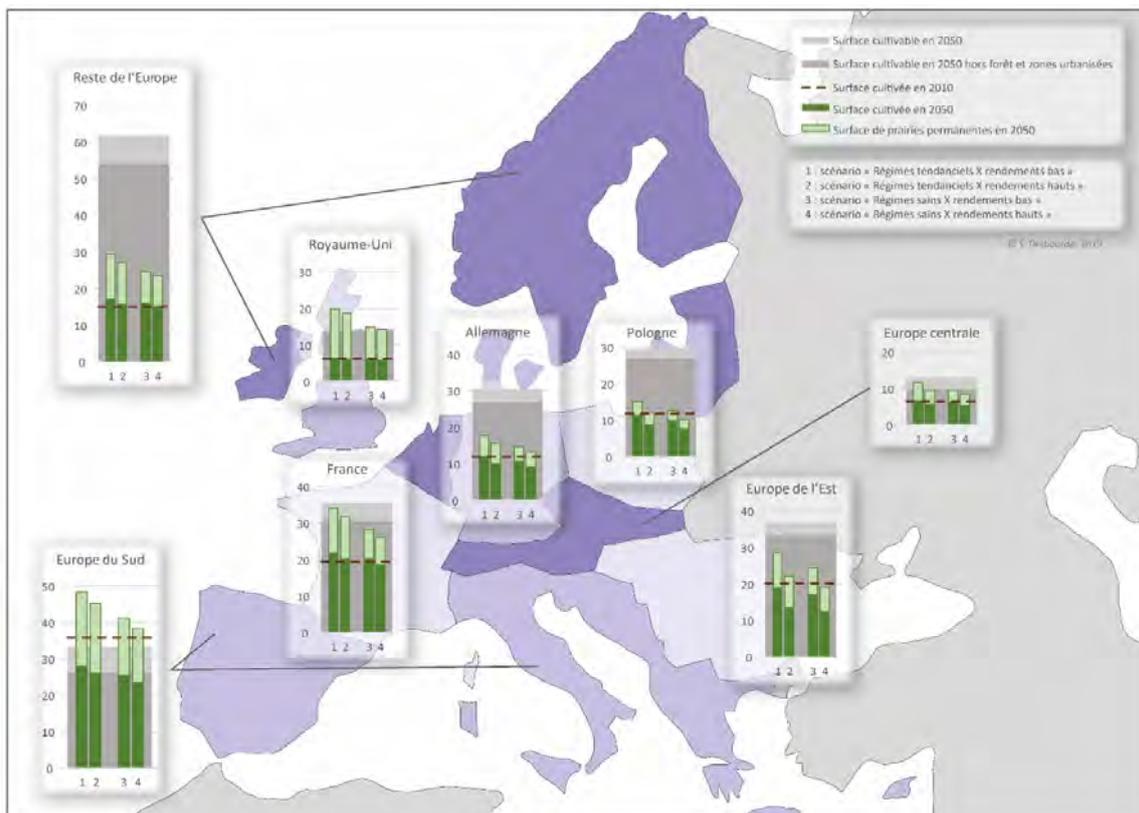


Figure 5. Surfaces agricoles (en millions d'ha) dans les régions européennes à l'horizon 2050 selon les scénarios de référence



Des échanges mondiaux en augmentation sans modification des positions déjà acquises

Au-delà de la croissance de la production agricole dans la plupart des régions du monde en réponse à la dynamique des différentes composantes des demandes régionales, **les échanges mondiaux augmenteraient en 2050 relativement à « 2010 »**, renforçant les positions à l'exportation des régions déjà exportatrices nettes en « 2010 » et, mécaniquement, la dépendance aux importations des régions déjà importatrices nettes en « 2010 » (Figure 6). Cette accentuation des situations respectives d'exportateurs nets et d'importateurs nets serait légèrement plus marquée si les rendements en 2050 sont bas *versus* hauts.

Les effets d'une adoption généralisée de régimes plus « sains »

À l'échelle mondiale, l'adoption généralisée de régimes favorables à la santé aurait paradoxalement peu d'effet sur l'évolution globale des surfaces cultivées décrite précédemment. Sous l'hypothèse haute d'évolution des rendements, une telle modification des comportements et des consommations alimentaires pourrait toutefois conduire à une **diminution globale des surfaces cultivées de -51 Mha par rapport à « 2010 »**. Ces résultats globaux masquent là encore une forte hétérogénéité de l'évolution du besoin en surfaces cultivées entre régions.

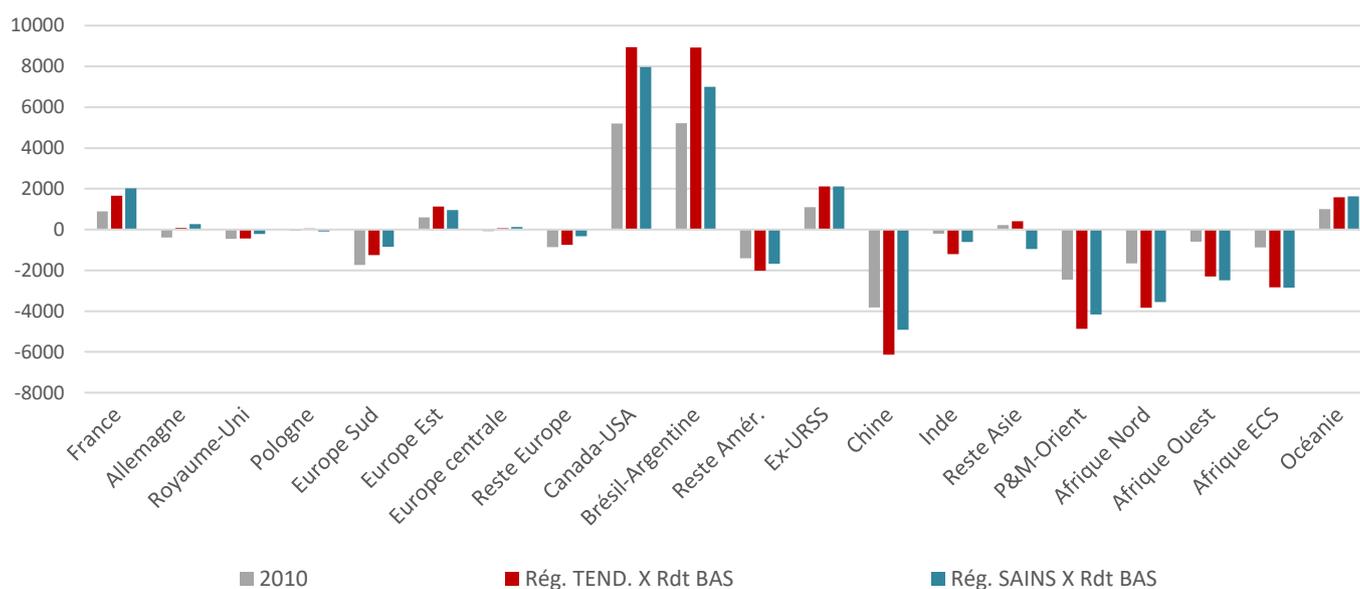
En **Afrique subsaharienne**, où l'adoption de tels régimes correspond à une augmentation des apports caloriques totaux et de la consommation de produits animaux par rapport aux régimes « tendanciels », **les besoins en terres cultivées augmenteraient encore** d'environ +50 à +70 Mha par rapport au scénario précédent, ce qui s'accompagnerait d'un

En Europe, toutes les régions amélioreraient leur position à l'échange en 2050 relativement à « 2010 » : les positions d'exportateurs nets seraient renforcées (France, Europe de l'Est) ; les positions d'importateurs nets seraient atténuées (Europe du Sud, reste de l'Europe, Royaume-Uni) ; l'Allemagne, la Pologne et l'Europe centrale passeraient du statut d'importateur net en « 2010 » à celui d'exportateur net en 2050.

renforcement de la dépendance alimentaire de ces régions. **Ailleurs**, c'est essentiellement au Canada-USA, en Chine et, dans une moindre mesure, au Brésil-Argentine que **le besoin en surfaces cultivées serait atténué** par rapport au scénario précédent. L'adoption de régimes « sains » permettrait même au Canada-USA de rejoindre le groupe des régions susceptibles de disposer d'un « surplus de terres ». Ceci est également valable **en Europe**, où **toutes les régions seraient alors concernées par l'apparition d'un « surplus de terres »**.

Sous hypothèse de régimes alimentaires « sains », la croissance des productions et le renforcement des positions historiques dans les échanges observés sous hypothèse de poursuite tendancielle des régimes s'atténueraient, du fait de la limitation des demandes de produits agricoles dans nombre de régions du monde.

Figure 6. Exportations nettes (10^3 kcal) en 2050 sous régimes « tendanciels » *versus* « sains », combinés à des rendements « bas »



Un accroissement du recours aux échanges mondiaux en cas de limitation des terres cultivables

La définition des surfaces cultivables retenue dans les scénarios de référence est suffisamment souple pour autoriser de larges extensions de surfaces agricoles dans des régions clés comme l'Afrique subsaharienne, dont la demande alimentaire augmenterait le plus à l'horizon 2050. Ceci permet de ne pas accentuer les taux de dépendance aux importations de ces régions relativement à « 2010 ». En contrepartie, la forte hausse de leurs surfaces cultivées s'opère potentiellement au détriment de milieux naturels et/ou de surfaces actuellement boisées, un tel changement d'usage des sols pouvant induire un accroissement des émissions de gaz à effet de serre et/ou porter atteinte à la biodiversité. Des simulations complémentaires dans lesquelles on empêche la mise en culture des surfaces actuellement boisées tout en tenant compte de la possible extension de l'urbanisation, limitent peu les expansions de surfaces cultivées dans les régions les plus concernées.

Une interdiction de l'expansion des surfaces cultivées au-delà de leurs niveaux de « 2010 » placerait en revanche l'ensemble des régions du monde dans une situation de saturation de la contrainte en terres cultivables à l'horizon 2050. Une telle restriction peut résulter de la mise en œuvre d'accords internationaux sur la préservation des surfaces naturelles, et/ou de la progression de la dégradation des terres, phénomène qui n'a pu être intégré dans la quantification des surfaces cultivables en 2050. Les simulations réalisées avec un tel resserrement de la contrainte en terres forcent les régions ayant le plus besoin de terres dans les scénarios de

référence à recourir de façon accrue aux échanges mondiaux pour faire face à l'augmentation de leur demande domestique agricole, et les régions qui disposent de surplus de terres à les mettre en culture et à exporter leur production « excédentaire » sur les marchés mondiaux.

En supposant une évolution tendancielle des régimes alimentaires, le modèle ne parvient à équilibrer le bilan que sous hypothèse de rendements « hauts », et qu'à la condition d'une très forte augmentation des échanges mondiaux de produits agricoles à l'horizon 2050, accentuant l'écart actuel entre les régions exportatrices nettes et les régions importatrices nettes. Sous ces hypothèses, la moindre augmentation des productions en Afrique subsaharienne et en Inde serait compensée en mobilisant la totalité des surplus de terres mondiaux identifiés dans les scénarios de référence. La dépendance aux importations de ces régions en serait donc accentuée, de même que celle de l'Afrique du Nord et du Proche et Moyen-Orient. Les autres régions importatrices nettes que sont les régions asiatiques et le reste de l'Amérique verraient également leurs importations augmenter, bien que plus modérément. **Parmi les régions exportatrices nettes, l'Europe ne contribuerait que modestement à la satisfaction des besoins alimentaires mondiaux** en comparaison surtout du Canada-USA, de l'ex-URSS (qui quadruplerait ses exportations par rapport à « 2010 » grâce à la mobilisation de son surplus de terres) et du Brésil-Argentine.

Quel rôle de l'Europe pour réduire les effets liés à l'expansion des surfaces cultivées ?

Comme on vient de le voir, si les surfaces cultivées mondiales ne pouvaient dépasser en 2050 leurs niveaux de « 2010 », les exportations européennes ne participeraient que modestement à la sécurité alimentaire mondiale. D'autres stratégies d'usages de ses « surplus de terres » permettraient à l'Europe de contribuer plus activement aux enjeux climatiques et à la sécurité alimentaire. Elle pourrait notamment **limiter ses importations de certains produits agricoles, contribuant ainsi à atténuer les expansions foncières hors Europe** mises en évidence précédemment sans porter préjudice à la sécurité alimentaire mondiale.

Les 2 à 17 Mha de surplus potentiels de terres européens⁸ mis en évidence dans les scénarios de référence pourraient ainsi permettre de **développer la culture d'oléoprotéagineux** dans le double objectif de réduire la dépendance aux importations de tourteaux de soja et limiter l'expansion des surfaces cultivées de soja dans la région Brésil-Argentine, expansion qui s'opère le plus souvent au détriment des prairies permanentes et des forêts. Le soja représente 80% des importations européennes de tourteaux d'oléagineux en « 2010 ». Le développement exclusif de sa culture est donc envisagé ici en guise d'exemple emblématique.

La production additionnelle de tourteaux de soja permise par l'usage des surplus de terres européens, essentiellement situés en Europe de l'Est, en Pologne, en Allemagne et en Europe centrale, représenterait de l'ordre de 4 à 44 millions de tonnes (Mt) selon les scénarios envisagés.

La réduction des importations européennes permise par cette production domestique équivaldrait à la préservation de 1 à 10 Mha de surfaces cultivées au Brésil-Argentine, à comparer aux 47 Mha de soja cultivés en « 2010 » dans cette région. Dans le scénario le plus favorable combinant régimes « sains » et rendements « hauts », cette production additionnelle permettrait de réduire à zéro les importations européennes de tourteaux (déduction faite des échanges intra-européens). L'Europe n'utiliserait alors que 45 % de ses surplus de terres, 9 Mha sur 17 restant donc encore « disponibles » pour d'autres usages. Au-delà de cette situation archétypale, le développement d'une combinaison de productions (oléo-)protéagineuses serait plus probable (soja, colza, tournesol, pois protéagineux, etc.). Une telle diversification des cultures, incluant des légumineuses, servirait en outre d'autres objectifs environnementaux liés notamment à la réduction de l'usage des intrants de synthèse.

⁸ En excluant l'Europe du Sud, dont on peut faire l'hypothèse qu'elle exploiterait plutôt ses « surplus de terres » pour réduire sa dépendance aux importations.

Si la contribution de l'Europe à la préservation des surfaces sud-américaines serait potentiellement non négligeable, à condition d'une croissance soutenue des rendements végétaux, elle apparaît néanmoins réduite face à celle de l'ex-URSS et du Canada-USA (ce dernier sous hypothèse de régimes « sains »), dont les surplus de terres permettraient de produire respective-

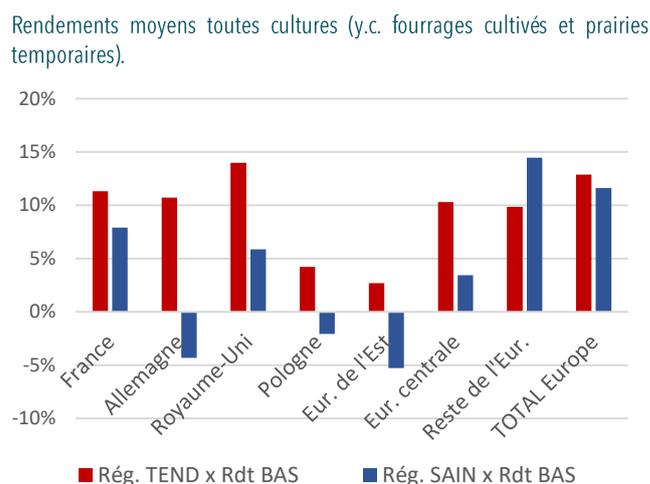
ment 52 à 132 Mt, et 41 à 123 Mt de tourteaux de soja. Par construction, la réflexion développée ici ignore néanmoins les conditions nécessaires à la rentabilité économique d'une augmentation de la production d'oléoprotéagineux en Europe, au Canada-USA et en ex-URSS, les coûts de production du soja étant aujourd'hui très compétitifs au Brésil-Argentine.

Vers des systèmes européens moins intensifs en intrants de synthèse en 2050 ?

La pression croissante exercée sur les écosystèmes par les systèmes de culture européens aujourd'hui majoritaires, ainsi que l'évolution des exigences sociétales vis-à-vis de l'agriculture, imposent l'évolution de ces derniers vers des systèmes plus économes en intrants de synthèse et en eau, et associés à la fourniture de plus hauts niveaux de services écosystémiques. Si des systèmes agro-écologiques peuvent contribuer à une telle évolution, ils ne permettent pas nécessairement d'atteindre des rendements aussi élevés que les hypothèses de rendements utilisées dans les scénarios de référence. Or, les agricultures européennes doivent pouvoir atteindre des niveaux de productivité de la terre suffisants à la fois pour répondre à la demande domestique en produits agricoles et pour maintenir leur place dans les échanges mondiaux, dans un contexte de forte augmentation de la demande mondiale. La mise en culture des surplus de terres européennes pourrait permettre de substituer le levier « rendement » par le levier « surface » tout en maintenant les niveaux des productions et des échanges estimés en 2050 dans les scénarios de référence. La diminution potentielle de rendement qui en résulte matérialise la marge de manœuvre pour évoluer vers des systèmes de production européens moins intensifs en intrants. Cette marge de manœuvre est estimée par rapport aux niveaux de rendements les plus bas déjà intégrés dans les scénarios de référence⁹.

La mise en culture des surplus de terres permettrait de diminuer les rendements « bas » 2050 de -2 % sous hypothèse de régimes « tendanciels », et de -6 % sous hypothèse de régimes « sains »¹⁰. La hausse des rendements moyens par rapport à aujourd'hui (« 2010 ») serait alors limitée à environ +12 % (Figure 7), sachant que les évolutions des rendements européens envisagées dans cette étude sont à l'horizon 2050 déjà très limitées dans l'hypothèse basse. Encore une fois, ces valeurs moyennes masquent de fortes disparités selon les régions européennes, les baisses des rendements ainsi permises étant d'autant plus élevées que la région dispose de surplus de terres importants : elles seraient donc plus marquées en Europe de l'Est, en Pologne et en Allemagne où les rendements moyens pourraient même diminuer respectivement de -5 %, -2 % et -4 % par rapport à « 2010 » si les régimes sont « sains ».

Figure 7. Variations des rendements moyens européens par rapport à « 2010 » dans l'hypothèse de la mise en culture des « surplus de terres » (en %)



Si l'Europe semble disposer d'une marge de manœuvre concernant la hausse de ses rendements végétaux à l'horizon 2050, c'est sans compter l'incertitude qui entoure l'amplitude des effets de la diminution de la disponibilité en eau qui affectera en particulier la France, l'Europe du Sud, l'Europe de l'Est et l'Europe centrale. En considérant une possible accentuation du stress hydrique pendant la période de plus forte croissance des cultures, ces effets dépressifs sur le rendement pourraient être plus importants que ceux intégrés dans les projections initiales (qui n'incluent pas les effets liés aux variations intra-annuelles de la pluviométrie). Ainsi des rendements « bas » ajustés à la baisse pour tenir compte à la fois de la baisse des rendements des cultures pluviales et de la diminution de la part des surfaces irriguées¹¹, imposeraient une extension des surfaces cultivées dans les quatre régions concernées, notamment en Europe du Sud qui atteindrait sa contrainte de surface sous hypothèse de régimes « tendanciels ». À l'échelle européenne, ces extensions se traduiraient par une annulation du surplus de terres européen sous hypothèse de régimes « tendanciels », et à sa forte réduction sous hypothèse de régimes « sains » (limité à 6 Mha contre 14 Mha dans le scénario de référence correspondant).

⁹ On raisonne ici en rendements moyens toutes cultures.

¹⁰ La répartition relative des surfaces cultivées entre les différentes cultures (dont dépend le calcul du rendement moyen) diffère selon l'hypothèse d'évolution du régime alimentaire à l'horizon 2050.

¹¹ Dans un tel scénario, 5 % des surfaces européennes seulement seraient encore irriguées en 2050, contre 8 % dans les scénarios de référence.

Sources d'incertitude et perspectives de recherches

Plusieurs sources d'incertitude n'ont pas pu être pris en compte de façon explicite dans l'analyse. Ils définissent autant de besoins prioritaires de recherche. C'est le cas des **adaptations des agricultures mondiales aux effets du changement climatique** via les changements de pratiques agricoles et le progrès génétique, de l'évolution de la **pression de bioagresseurs** et de la **qualité nutritionnelle des produits récoltés**.

Les projections des rendements à l'horizon 2050 incluent les adaptations incrémentales (par exemple, en modifiant les dates de semis ou en utilisant des variétés plus précoces), mais pas les **adaptations plus systémiques des systèmes de production agricole**, ceci faute d'avoir pu les qualifier de façon robuste pour toutes les régions du monde et d'avoir pu en mesurer les conséquences sur les rendements à l'horizon 2050. Pour ce qui est du **progrès génétique**, l'exploration accrue des ressources génétiques et de leur diversité, le recours aux nouvelles méthodes de sélection et l'orientation de celles-ci vers des cibles en lien avec les évolutions climatiques (par exemple, une plus grande tolérance à la sécheresse) permettent d'espérer qu'il aidera aussi à s'adapter, au moins pour partie, aux effets du changement climatique. De façon plus générale, il serait utile de distinguer les contributions respectives des deux composantes des évolutions techniques, que sont le progrès technique et le recours aux intrants, pour caractériser les mécanismes qui sous-tendent les évolutions des rendements et, *in fine*, estimer les impacts environnementaux et sanitaires des systèmes de culture associés.

Le nombre, la diversité des **bioagresseurs** et leur coévolution avec le changement climatique et les pratiques agricoles rendent impossible la prédiction de leur impact sur les rendements (pertes de récolte) par le biais de relations statistiques synthétiques, à l'instar de ce qui a pu être fait pour les paramètres climatiques. Une solution plus réaliste serait de construire des hypothèses d'évolution des impacts des principaux bioagresseurs des cultures majeures en lien avec les évolutions des pratiques agricoles et des moyens de protection des cultures.

Des recherches très récentes ont mis en évidence un impact potentiellement négatif du changement climatique, plus spécifiquement de la concentration atmosphérique en CO₂, sur la

qualité nutritionnelle des produits végétaux récoltés qui se traduit par des baisses des teneurs en protéines, en certains oligoéléments (fer, zinc) ou en certaines vitamines. Il serait intéressant d'analyser dans quelle mesure il est possible de compenser cet impact via les leviers que sont l'adaptation de la fertilisation ou encore la sélection variétale.

Enfin, force est de constater qu'en dépit des efforts de la communauté scientifique internationale, la robustesse des données demeure problématique. À ce titre, nous mentionnerons notamment les **faiblesses des données relatives, d'une part, aux intensités culturelles**, dont il importe d'améliorer la cohérence inter-cultures pour une même région, et inter-régions pour une même culture, **et, d'autre part, à la description des surfaces, des rendements et des utilisations des fourrages** par les différentes espèces animales. Ce dernier point concerne en particulier les prairies permanentes.

Références citées :

- FAO (2012). Alexandratos N., Bruinsma J. (2012). World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO.
- FAO (2018). The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050. Rome, 224 p.
- FAO/IIASA (2011-2012). Global Agro-Ecological Zones (GAEZ v3.0). FAO Rome, Italy and IIASA, Luxemburg, Austria. 196pp.
- Le Mouél C., Forslund A. (2017). How can we feed the world in 2050? A review of the responses from global scenario studies. *European Review of Agricultural Economics*, 44(4): 541-591.
- Le Mouél C. (ed.), Lattre-Gasquet M. de (ed.), Mora O. (ed.). (2018). Land use and food security in 2050: a narrow road. Agrimonde Terra. Versailles (France) : Editions Quae. 398 p. (Matière à Débattre et Décider).
- Makowski D., Marajo-Petitson E., Durand J-L., Ben-Ari T. (*in revision*). Quantitative synthesis of temperature, CO₂, rainfall, and adaptation effects on global crop yields.
- ONU (2017). World Population Prospects: The 2017 Revision.

Pour en savoir plus :

- Tibi A, Forslund A, Debaeke P, Schmitt B, Guyomard H (coordinateurs), Marajo-Petitson E, Ben-Ari T, Bérard A, Bispo A, Durand J-L, Faverdin P, Le Gouis J, Makowski D, Planton S (2020). Place des agricultures européennes dans le monde à l'horizon 2050 : entre enjeux climatiques et défis de la sécurité alimentaire. Rapport de synthèse de l'étude, INRAE (France), 159 p.
- Forslund A., Marajo-Petitson E., Tibi A., Guyomard H., Schmitt B. (coordinateurs), Agabriel J., Brossard L., Dourmad J.-Y., Dronne Y., Faverdin P., Lessire M., Planton S., Debaeke P. (2020). Place des agricultures européennes dans le monde à l'horizon 2050 : entre enjeux climatiques et défis de la sécurité alimentaire. Rapport technique sur les démarches adoptées pour projeter à l'horizon 2050 les variables d'entrée du modèle GlobAgri-AE2050, INRAE (France), XX p.
- Tibi A., Debaeke P. (coordinateurs), Ben-Ari T., Bérard A., Bispo A., Charcosset A., Durand J.-L., Le Gouis J., Makowski D., Marrou H., Planton S., Sauquet E., Savary S., Willocquet L., Guyomard H., Schmitt B. (2020). Place des agricultures européennes dans le monde à l'horizon 2050 : entre enjeux climatiques et défis de la sécurité alimentaire. Rapport du volet d'analyse bibliographique de l'étude, INRAE (France), XX p.



: 'gZXi 'dcYZ' d, nœZgj hZ hXZci 'f' j Z XdaZXi kZ"YZ' a/FglheZXi kZ Zi YZh; ij YZh
' * - "g Z YZ' d' c'kZgh'É
- +&&- "FVgh
Tél.: +33 1 (0)' *(- + / & 00

Rejoignez-nous sur :



]iieh0%# l l \$cgZ\$g'Xda'Wdg'gZnœZgj hZ#Veej #Vj n#eda'f'j Zh#ej V#f'j Zh

**Institut national de recherche pour
l'agriculture, l'alimentation et l'environnement**



Pluriagri