



INRAE



Comment assurer les disponibilités alimentaires du continent africain à l'horizon 2050 ?

**Rapport de l'étude conduite par INRAE à la demande de FARM
Juin 2021**

Contacts :

Bertrand Schmitt, INRAE : bertrand.schmitt@inrae.fr

Agneta Forslund, INRAE : agneta.forslund@inrae.fr

Anaïs Tibi, INRAE : anaïs.tibi@inrae.fr

Hervé Guyomard, INRAE : herve.guyomard@inrae.fr

Philippe Debaeke, INRAE : philippe.debaeke@inrae.fr

Directeur de la publication : Guy Richard, Directeur de la Direction de l'Expertise scientifique collective, de la Prospective et des Études (DEPE)

Pour citer ce document : Schmitt B., Forslund A., Tibi A., Guyomard H., Debaeke P., 2021. Comment assurer les disponibilités alimentaires du continent africain en 2050 ? Relecture africaine de l'étude INRAE « Place des agricultures européennes dans le monde à l'horizon 2050 » conduite par INRAE à la demande de Pluriagri. Rapport de l'étude. INRAE (France), 62 p.

Le présent document constitue le rapport d'une étude réalisée à la demande et grâce au soutien de la Fondation FARM. Cette étude fait suite et prolonge les travaux menés antérieurement par INRAE sous la conduite de sa Direction à l'Expertise scientifique collective, à la Prospective et aux Etudes (DEPE) pour le compte de l'association Pluriagri.

Le contenu des documents produits dans le cadre de cette étude n'engage que la responsabilité de leurs auteurs. Il a été élaboré sans condition d'approbation préalable par FARM ou par INRAE.



Direction de l'Expertise scientifique collective,
de la Prospective et des Études (DEPE)



Comment assurer les disponibilités alimentaires du continent africain à l'horizon 2050 ?

Relecture africaine de l'Étude INRAE « Place des agricultures européennes dans le monde à l'horizon 2050 »
conduite par la DEPE à la demande de Pluriagri¹

Bertrand Schmitt ²	INRAE, UMR CESAER, Dijon
Agneta Forslund	INRAE, UMR SMART-LERECO, Rennes
Anaïs Tibi	INRAE, DEPE, Paris
Hervé Guyomard	INRAE, Centre Bretagne-Normandie, Rennes
Philippe Debaeke	INRAE, UMR AGIR, Toulouse

Rapport de l'étude INRAE menée pour la Fondation FARM

Juin 2021

¹ Tibi *et al.* (2020).

² Auteur correspondant : bertrand.schmitt@inrae.fr

**Comment assurer les disponibilités alimentaires du continent africain à l’horizon 2050 ?
Relecture africaine de l’Étude INRAE « *Place des agricultures européennes dans le monde
à l’horizon 2050* », conduite par la DEPE à la demande de Pluriagri**

Schmitt B., Forslund A., Tibi A., Guyomard H. et Debaeke P.

Résumé

La présente étude fait suite et prolonge un travail conduit par INRAE visant à examiner la « *Place des agricultures européennes dans le monde à l’horizon 2050* » (Tibi *et al.*, 2020). Reprenant le dispositif méthodologique de l’étude séminale, ce prolongement s’interroge sur le devenir des systèmes alimentaires africains et, notamment, sur leur capacité à couvrir les besoins alimentaires des populations de l’Afrique dans les décennies à venir. A l’aide d’un modèle de bilan (GlobAgri-AE2050), les équilibres emplois-ressources en produits agricoles de toutes les régions du monde sont projetés, à l’horizon 2050, à partir des *Food Balances (FBS)* de FAOStat des années 2009, 2010 et 2011, moyennées en année « 2010 ».

Sous l’effet notamment d’un dynamisme démographique exceptionnel, la demande en produits agricoles du continent africain évoluera considérablement d’ici à 2050. En Afrique subsaharienne, caractérisée par des déficits nutritionnels aujourd’hui conséquents, le nécessaire rattrapage nutritionnel à accomplir renforcerait encore la croissance de la demande alimentaire, jusqu’à la faire tripler en quarante ans.

Les performances techniques des agricultures africaines, en particulier les rendements des cultures, globalement faibles, ne suffiraient pas à couvrir de telles évolutions des besoins sans une extension conséquente des surfaces cultivées. Même avec une forte amélioration de ces performances techniques, matérialisée par les projections optimistes des rendements végétaux retenues par la FAO (2012), la couverture des besoins liés à une alimentation plus « saine » (au sens des recommandations de l’OMS) des populations africaines nécessiterait une augmentation de +122 millions ha des surfaces cultivées africaines, soit une croissance de +47 % par rapport à la situation initiale de « 2010 ». Des évolutions techniques plus modérées, dans la lignée de la FAO (2018), se traduiraient par un doublement des surfaces cultivées du continent, soit +272 millions ha. Des terres cultivables sont potentiellement disponibles sur le continent sans empiéter directement sur les surfaces forestières : elles correspondent à des surfaces aujourd’hui herbacées à potentialité agronomique suffisante pour les mettre en culture.

Une hypothèse alternative consistant à maintenir les surfaces cultivées mondiales à leurs niveaux de « 2010 » pour limiter au maximum les impacts environnementaux de leur extension, ne pourrait être mondialement soutenue que dans l’hypothèse d’une forte augmentation des rendements, résultant d’un dynamisme des évolutions techniques de type FAO (2012). En contrepartie de cette contrainte sur les surfaces cultivées, on assisterait à une augmentation importante de la dépendance des régions africaines aux importations agricoles : ainsi, par exemple, le taux de dépendance aux importations agricoles des régions subsahariennes passerait de 12-15 % en « 2010 » à environ 40 % en 2050.

Les surfaces agricoles ne se limitent toutefois pas aux seules surfaces cultivées. L’analyse des besoins de surfaces en herbe mobilisées par les animaux d’élevage est également cruciale pour disposer d’une image complète de l’extension possible des surfaces agricoles, et donc des risques de déforestation et des risques climatiques et environnementaux liés. Une telle analyse est toutefois très délicate à réaliser, compte tenu notamment de la possible surestimation de ces surfaces dans les statistiques de la FAO, ainsi que des incertitudes sur les progrès techniques envisageables dans le secteur de l’élevage (qu’il s’agisse des efficacités animales ou de l’intensité du recours à ces surfaces en herbe pour l’alimentation des animaux), notamment en Afrique où l’élevage, le cheptel et le pastoralisme jouent

divers rôles bien spécifiques. L’important accroissement des besoins des populations africaines en produits animaux – besoin renforcé sous hypothèse d’une transition vers des régimes alimentaires plus « sains » – se combine aux faibles performances techniques de l’élevage pour engendrer une explosion des besoins de surfaces en herbe mobilisées par le cheptel. En Afrique subsaharienne, compte tenu des données et des hypothèses retenues dans cette étude, ces besoins dépasseraient les limites physiques des terres totales disponibles.

Plusieurs leviers visant à limiter l’extension des surfaces en herbe destinées à l’élevage au détriment des forêts africaines sont alors explorés (amélioration de la productivité de ces surfaces, amélioration des efficacités animales, substitution accentuée entre viande de ruminants et viande de granivores dans le régime alimentaire « sain »). S’ils limitent bien l’extension des surfaces africaines en herbe, ces leviers ne suffisent cependant pas à supprimer les risques de déforestation du continent. Il y aurait donc lieu d’actionner des leviers complémentaires (réduction des pertes et gaspillages, notamment au niveau de l’offre, substitution à la consommation entre produits animaux et produits végétaux, substitution à l’offre entre productions de ruminants et productions de monogastriques, etc.) ou d’accentuer davantage l’ampleur de ceux examinés pour tenter d’éliminer ces risques dont les conséquences en matière de lutte contre le changement climatique et contre la dégradation de la biodiversité sont majeures, tant à l’échelle africaine qu’à l’échelle mondiale.

En résumé, l’analyse témoigne de la pression sur les terres, cultivées et en herbe, induite en premier lieu par la démographie africaine, ceci d’autant plus si on y ajoute un objectif normatif d’évolution vers des régimes permettant de combler les déficits nutritionnels de ce continent. Ces difficultés se doublent de verrous, non étudiés dans ce rapport, à lever tout au long de la chaîne alimentaire pour assurer le stockage, le transport (qu’il s’agisse de biens domestiques ou importés) et la distribution des biens alimentaires.

Avant-Propos

La présente étude fait suite et prolonge les travaux menés par INRAE sous la conduite de sa Direction à l’Expertise scientifique collective, à la Prospective et aux Etudes (DEPE) pour le compte de l’association Pluriagri. Cette étude séminale « AE2050 » portait sur la « Place des agricultures européennes dans le monde à l’horizon 2050 » (Tibi et al., 2020).³ Bien qu’analysant principalement la place des agricultures européennes dans le monde et ses possibles évolutions à l’horizon 2050, ce travail s’appuyait sur des projections des équilibres emplois-ressources de chacune des régions du monde, y compris l’Afrique scindée en trois régions (Afrique du Nord ; Afrique de l’Ouest ; Afrique de l’Est, centrale et du Sud). Les résultats de ce travail concernant les régions africaines sont apparus suffisamment intéressants et stimulants à la fondation FARM (Fondation pour l’agriculture et la ruralité dans le monde) pour que cette dernière sollicite les coordinateurs de l’étude de Tibi et al. (2020) en vue d’en faire une relecture plus strictement africaine.

Le travail qui suit constitue donc une reprise, une relecture et un prolongement de l’étude Tibi et al. (2020). Il en diffère notamment par un changement apporté au mode de projection d’une des variables exogènes (les intensités culturelles), par une nouvelle série de simulations prenant en compte cette modification, par une focalisation africaine de la lecture des résultats, et par une réflexion plus approfondie sur l’extension des surfaces toujours en herbe en Afrique subsaharienne et les leviers qu’il serait possible de mobiliser pour la limiter.

Il en diffère également par le mode de conduite du travail qui, pris en charge plus directement par les coordinateurs de l’étude « AE2050 », n’a pas été réalisé selon les règles des opérations de la DEPE (Inra-DEPE, 2018). A ce titre, les propos tenus dans ce rapport engagent la responsabilité de ses seuls auteurs.

Ces derniers remercient tous les collègues chercheurs qui, ayant participé à l’étude « AE2050 », ont indirectement contribué à la présente étude. Parmi eux, nous remercions plus particulièrement Jean-Louis Durand et Philippe Faverdin pour leurs suggestions, conseils et avis toujours précieux, tant dans la démarche que sur certaines des questions plus spécifiquement africaines que nous nous sommes posés. Nous y associons les collègues de la DEPE, qui nous ont épaulés tout au long de ces travaux.

Nous tenons aussi à exprimer nos remerciements aux membres du Conseil scientifique de FARM et plus particulièrement son président, Pierre Jacquet (Global Development Network), ainsi que François Doligez (IRAM, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne) et Jean-Luc François (CGAAER) pour leur écoute et leurs apports précieux dans des domaines qui dépassaient nos compétences initiales. De la même façon, nous sommes reconnaissants aux deux relecteurs externes sollicités sur une ultime version de ce document que sont Jean Albergel (IRD, directeur de la Mission Expertise et Consultance) et Christian Huyghe (INRAE, directeur scientifique Agriculture), pour leurs remarques et conseils qui nous ont permis de peaufiner la version finale de ce rapport.

Enfin, nous sommes redevables tant à Guy Richard (directeur de la DEPE INRAE) qu’à Jean-Christophe Debar (directeur de Pluriagri et anciennement directeur de FARM) qui, au travers de leurs fonctions et grâce à leurs connaissances propres et à leur intérêt pour le type de démarche mise en œuvre ici, nous ont sollicité pour ce travail et ont, à tout instant, été d’un soutien à la fois bienveillant et scientifiquement exigeant.

³ On trouvera tous les livrables et documents de restitution qui en sont issus sur le site d’INRAE : [Quelle place pour les agricultures européennes dans les échanges mondiaux à horizon 2050 ? | INRAE INSTIT](#)

Sommaire

1. Introduction	6
2. Un modèle de bilan pour projeter à l’horizon 2050 les variables clés des systèmes alimentaires des différentes régions du monde.....	9
2.1. Description du modèle de bilan GlobAgri-AE2050.....	9
2.2. Modes de projection des variables exogènes et des paramètres du modèle	12
2.2.1. Une très importante croissance attendue de la population africaine	12
2.2.2. Des régimes alimentaires qui, aujourd’hui, couvrent difficilement les besoins nutritionnels en Afrique et dont les évolutions pourraient diverger par rapport aux autres régions du monde	13
2.2.3. Des rendements végétaux initialement bas dont les potentialités de croissance par progrès technique pourraient être freinées par les effets du changement climatique	15
2.2.4. L’hypothèse d’une intensité culturelle (CI) constante dans le temps.....	19
2.2.5. Des efficacités animales africaines très en deçà de celles des autres régions du monde, notamment en matière de production bovine (lait et viande).....	20
2.2.6. Une disponibilité en terres cultivables en Afrique subsaharienne apparemment peu limitante en termes d’extension des surfaces cultivées	22
3. Face aux évolutions potentielles des demandes alimentaires, une situation africaine entre extension des terres cultivées et dépendance accrue aux importations	27
3.1. Vers une explosion des demandes alimentaires du continent africain : effets sur les besoins en surfaces cultivées	28
3.2. Les évolutions des performances techniques agricoles ne compenseraient que très partiellement les besoins en surfaces cultivées liés aux évolutions de la demande alimentaire africaine.....	29
3.3. Forte extension des surfaces cultivées, des volumes de production et d’échanges sous contrainte de surfaces cultivables n’empiétant pas sur les surfaces forestières	32
3.4. Accroissement majeur des taux de dépendance aux importations en cas de maintien des surfaces cultivées à leur niveau « actuel »	35
4. La très délicate question des surfaces en herbe et de l’extension des besoins en prairies.....	40
4.1. Les surfaces en prairies permanentes et leur usage par les animaux : une évaluation difficile au travers de données de la FAO.....	40
4.2. Des hypothèses sur les évolutions d’intensité d’usage de l’herbe assez conservatrices qui entraînent des extensions potentiellement impossibles des surfaces pâturées en Afrique subsaharienne	42
4.3. Trois leviers complémentaires pour tenter de limiter l’extension des surfaces agricoles en Afrique subsaharienne	45
5. Conclusion.....	53

1. INTRODUCTION

Même si les dynamiques des dernières décennies ont quelque peu amélioré certaines de leurs composantes (Benoit-Catin et Bricas, 2012 ; Janin, 2021), les systèmes alimentaires africains peinent encore aujourd’hui à couvrir les besoins nutritionnels de leurs populations. C’est en effet sur ce continent que le nombre d’individus en situation de sous-nutrition chronique ou de carences alimentaires et/ou vitaminiques avancées reste le plus élevé, et que les apports énergétiques et nutritionnels sont en moyenne parmi les plus faibles au monde, avec en outre de fortes disparités tant internes aux pays qu’entre pays (Onyango *et al.*, 2019).⁴ Plusieurs explications sont avancées pour rendre compte de cette situation. On évoque souvent, à raison, les questions d’accessibilité économique et physique aux biens alimentaires, affirmant alors l’importance des enjeux de pauvreté, de croissance économique, de redistribution économique des revenus et des fruits de cette croissance, de prix des produits alimentaires, de redistribution physique des biens, etc. (WHES, 2017). L’instabilité des approvisionnements est également mise en cause tant du fait des conséquences d’aléas climatiques importants et des modes de gestion de ces crises (Tirado *et al.*, 2015), que des défaillances des gouvernances locales, des conflits, des crises politiques et des guerres récurrentes qui traversent, depuis plusieurs décennies, de nombreuses zones du continent africain (Gasbu *et al.*, 2019 ; Dodo, 2020). En outre, les débats sur la destination des biens agricoles produits localement persistent et les remises en cause récurrentes du développement de cultures de rente aux usages pas forcément alimentaires et à destination de l’export restent d’actualité, même si ce point de vue n’est pas partagé, certains auteurs soulignant les bénéfices des cultures d’exportation (voir, par exemple, Sahn, 1990). Ces interrogations se prolongent d’ailleurs aujourd’hui au travers des débats autour des mouvements d’« exportations de terres », plus généralement de ressources naturelles, et des « accaparements de terres » pour des productions agricoles (à usage alimentaire ou non alimentaire) destinées à l’extérieur de la région de production et même du continent (Batterbury et Frankline, 2018). Les initiatives prises par les grands programmes relatifs à la sécurité alimentaire en Afrique, tels que, par exemple, le Programme Détaillé pour le Développement de l’Agriculture en Afrique du NEPAD (NEPAD, 2015) ou la feuille de route entre l’Union Européenne et l’Union Africaine sur la sécurité alimentaire, la sécurité nutritionnelle et l’agriculture durable (EU-AU, 2016), jouent un rôle clé pour l’amélioration de la situation agricole et alimentaire africaine.

S’ils ont tous un impact conséquent sur la sécurité alimentaire du continent africain, les facteurs évoqués ci-dessus agissent essentiellement en conditionnant l’accès, la qualité, la stabilité de l’alimentation (pour reprendre les critères habituels définissant la sécurité alimentaire de la FAO, 1996), et moins directement sa disponibilité. Or, même si l’activité agricole continue à peser lourdement dans les économies des Etats du continent africain, l’agriculture doit en elle-même faire face à de nombreuses difficultés qui handicapent largement la productivité tant du travail que de la terre (Debar et Tapsoba, 2019). Au-delà de fortes hétérogénéités en matière de climat, de sols ou de ressources et en dépit de progrès récents mais souvent circonscrits à quelques Etats, régions et/ou cultures (Studwell, 2019), les rendements agricoles moyens y apparaissent très bas par rapport à ce que l’on peut observer dans de nombreuses autres régions du monde. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cet écart persistant entre agricultures africaines et autres régions du monde. S’ajoutant aux conséquences de conditions climatiques difficiles et de sols peu productifs ou fragiles (Tadele, 2017), les importants *yield gaps* (écarts entre rendements potentiels et rendements réels) enregistrés sur une large gamme de cultures sont souvent considérés comme révélateurs d’une combinaison de techniques de production peu performantes, de pratiques agricoles particulièrement extensives, d’un trop faible accès à l’eau et aux intrants (van Ittersum *et al.*, 2016), de conditions de récolte qui accentuent les pertes à ce stade crucial de la mise en disponibilité des biens agricoles. L’agriculture

⁴ En même temps, le continent africain fait également face à une croissance des situations de surpoids et d’obésité, dans le cadre de ce que l’on appelle le double fardeau de la malnutrition.

pluviale y est largement dominante et l’agriculture irriguée encore peu développée (Woodhouse *et al.*, 2016), rendant les agricultures africaines plus vulnérables face aux effets des changements climatiques en cours et à venir (Müller *et al.*, 2011). A cela s’ajoute le rôle spécifique des animaux dans les économies rurales africaines, compte tenu des enjeux particulièrement sensibles, tant socialement que politiquement et économiquement, du pastoralisme, de l’élevage et du cheptel dans nombre de régions du continent (Otte *et al.*, 2019). Bien que quelque peu négligées dans nombre d’analyses récentes, les disponibilités en biens agricoles restent donc un enjeu très prégnant pour l’ensemble du monde, et notamment pour le continent africain. Si elles ne peuvent déjà aujourd’hui couvrir l’ensemble des besoins africains, leur devenir pose des questions cruciales et stratégiquement importantes, et ce au moins pour deux raisons majeures.

Tout d’abord, le dynamisme démographique du continent se traduira mécaniquement, dans les décennies à venir, par une très forte croissance de la demande en produits agricoles et alimentaires à fournir et donc, par une pression accentuée sur les disponibilités en biens agricoles. De même, les déficits nutritionnels d’une part suffisamment importante des populations africaines pour se traduire dans les moyennes continentales des apports nutritionnels, dépassent le seul enjeu de l’accès à l’alimentation et posent explicitement la question des modes de rattrapage nutritionnel.

Pour faire face à ce double défi, démographique et nutritionnel, plusieurs grands types de trajectoires peuvent être envisagés, sous des formes toujours combinables. Il est d’abord envisageable d’accroître les performances techniques des agricultures africaines, et nombre de travaux et de politiques s’attèlent depuis de nombreuses années à cette dimension cruciale de la question (Thomson et Gyatso, 2020). Contrairement aux enjeux des « révolutions » agricoles antérieures, cette nouvelle phase de développement se doit de tenir compte des défis supplémentaires qu’engendre le changement climatique en cours, et d’intégrer les objectifs communs à toute la planète d’une limitation stricte des impacts climatiques et environnementaux (notamment en matière de biodiversité) de certaines formes d’agriculture. Ces objectifs peuvent amener à des évolutions de productivité qui pourraient ne pas être en mesure de couvrir les besoins en disponibilités de biens agricoles et conduire à étendre en conséquence les surfaces agricoles (surfaces cultivées et surfaces en herbe utilisées pour le cheptel). Une telle extension des surfaces agricoles se traduirait, d’une part, par une recrudescence des risques de déforestation déjà importants aujourd’hui (Ordway *et al.*, 2017), et pourrait, d’autre part, se heurter aux occupations actuelles autres de terres considérées comme agronomiquement « cultivables » : forêts, savanes arborées, prairies, espaces naturels protégés ou non, etc. (Lambin et Meyfroidt, 2011 ; Jacquemont, 2017, 2021 ; Valentin, 2021).

Accroître très fortement les disponibilités en biens agricoles pour répondre aux besoins domestiques sur la base d’une agriculture dont les performances techniques ne s’amélioreraient qu’insuffisamment et en cherchant à contenir au maximum l’extension des surfaces cultivées et plus largement agricoles, oriente les solutions alternatives vers le recours aux échanges mondiaux, qui combine, pour le continent africain, réduction des exportations et accroissement des importations de produits agricoles. Au-delà des déficits commerciaux qu’elle implique, cette option pose la question de la dépendance accrue de cette région du monde aux importations de produits agricoles et de ses conséquences.

Ce sont ces enjeux et ces tensions potentielles que l’étude qui suit vise à éclairer. Pour ce faire, et comme le font de nombreux autres travaux (voir Le Mouël et Forslund, 2017 ou Bahar *et al.*, 2020, pour des synthèses et méta-analyses), nous proposons ici des projections à l’horizon 2050 des équilibres emplois-ressources en biens agricoles des différentes parties du monde à l’aide d’un modèle de bilan (GlobAgri-AE2050) qui permet d’analyser la façon dont les différentes options posées ci-dessus peuvent se mettre en œuvre ou coexister sur l’ensemble de la planète. On adoptera ici un focus africain marqué, rarement développé dans les travaux s’intéressant aux questions de sécurité

alimentaire mondiale, mais nécessaire compte tenu des enjeux spécifiquement forts sur ce continent. Pour ce faire, on s’appuiera sur les travaux déjà réalisés avec ce modèle et notamment les résultats de l’étude « AE2050 » (Forslund *et al.*, 2020).

Le travail se structure en trois parties. On présente d’abord le fonctionnement du modèle et la façon dont il décrit, à l’aide d’un ensemble de variables et paramètres, les systèmes alimentaires qu’il cherche à appréhender. On précise ensuite les bases sur lesquelles on a projeté à l’horizon 2050 ces variables et paramètres constitutives des différentes composantes du système. Pour certaines d’entre elles, plusieurs options ou hypothèses alternatives sont proposées afin de tenir compte des principales incertitudes que la littérature actuelle permet de documenter au mieux. Ce sera notamment le cas (i) des régimes alimentaires vers lesquels peuvent tendre les différentes régions du monde, (ii) des niveaux de rendements que pourraient atteindre les cultures au travers du monde compte tenu des effets du changement climatique et des dynamiques possibles des évolutions techniques, et (iii) des surfaces qui pourraient être mobilisées pour couvrir les besoins domestiques et éventuellement ceux d’autres régions du monde par l’exportation d’une partie de la production. On examine enfin les résultats des simulations réalisées selon ces modalités. Ces résultats portent plus spécifiquement sur : (i) les surfaces agricoles (cultivées et en prairies permanentes) mobilisées à l’horizon 2050 en vue de couvrir les besoins de chaque région du monde compte tenu des conditions de production préalablement définies, (ii) les niveaux de production domestique de chaque région du monde et (iii) les niveaux d’échanges internationaux (exportations et importations) dont chacune aurait théoriquement besoin pour équilibrer son système alimentaire. Dit autrement, on cherche à définir comment, pour une hypothèse de demande alimentaire donnée, le couple [performances agricoles - surfaces cultivables] détermine les surfaces cultivées et en prairies permanentes nécessaires pour assurer la production et les échanges attendus dans chaque région du monde.

On insistera, comme on l’a compris, sur les tensions auxquelles pourrait devoir faire face le continent africain entre une extension de ses surfaces agricoles (plus ou moins réaliste, plus ou moins réalisable) et un accroissement de sa dépendance aux importations, compte tenu des objectifs nutritionnels et des conditions techniques que nous fixerons *a priori*, sachant que des options différenciées en seront proposées. Si ces résultats convergent assez nettement avec d’autres travaux menés par ailleurs (par exemple, von Ittersum *et al.*, 2016 ; Hall *et al.*, 2017), ils en diffèrent par la vision d’ensemble du continent africain qu’ils cherchent à donner et par un examen peu passé sous silence des enjeux liés aux usages de surfaces en herbe. Ce dernier point, rarement embarqué ni vraiment explicité dans les analyses est, on le verra, à la fois crucial pour un examen global des systèmes alimentaires (notamment africains) et extrêmement délicat compte tenu des défaillances des systèmes d’identification de ces surfaces, de leur rôle et usage en Afrique, et de la faiblesse de la documentation concernant leur devenir.

2. UN MODÈLE DE BILAN POUR PROJETER À L’HORIZON 2050 LES VARIABLES CLÉS DES SYSTÈMES ALIMENTAIRES DES DIFFÉRENTES RÉGIONS DU MONDE

L’étude qui suit s’appuie sur le modèle de bilan GlobAgri-AE2050 qui permet de projeter à des horizons plus ou moins lointains (ici, 2050) les équilibres emplois-ressources de chaque produit agricole pour chaque région du monde tels qu’ils ressortent des *Food Balance Sheets* de FAOStat⁵ (Forslund *et al.*, 2020). Ce modèle GlobAgri, utilisé ici dans une version dite GlobAgri-AE2050, a été initialement conçu dans le cadre d’une collaboration INRA-Cirad ayant donné lieu à la prospective Agrimonde-Terra (Le Mouël *et al.*, 2018, Mora *et al.*, 2020). Les bilans de produits agricoles qu’il mobilise et qu’il projette expriment en tonnes ou en kilocalories (kcal) les différentes composantes des demandes alimentaires et de l’offre de produits agricoles.⁶

Après avoir posé les grands principes de fonctionnement du modèle, on rappellera dans cette section la façon dont ont été construites les hypothèses de projection à 2050 des principales variables exogènes au modèle, et notamment la façon dont on peut envisager les évolutions régionales en matière de démographie, de régimes alimentaires et autres usages des produits agricoles ainsi que de conditions techniques de production (rendements végétaux et animaux, intensités culturales, efficiences animales, surfaces disponibles pour l’agriculture, etc.). On trouvera dans Tibi *et al.* (2020) et Forslund *et al.* (2020) tous les détails relatifs au fonctionnement du modèle et au mode de projection de ses variables d’entrée.

2.1. Description du modèle de bilan GlobAgri-AE2050

GlobAgri-AE2050 est un modèle de bilan mobilisé pour projeter à des fins d’analyses prospectives les équilibres emplois-ressources de produits agricoles des différentes régions du monde. Il permet, à partir d’une année de référence (ici, « 2010 », moyenne des informations FAOStat des années 2009-10-11) et pour un horizon temporel donné (ici, 2050), de simuler les évolutions de surfaces agricoles, de niveaux de production et d’échanges de chaque région du monde, induites par des changements imposés, de façon exogène, aux éléments de la demande et/ou de l’offre en produits alimentaires et agricoles d’une ou de plusieurs régions.

Le modèle s’appuie sur les équilibres emplois-ressources de chaque produit agricole (i), dans chaque région (j), permettant de satisfaire à l’équation suivante :

$$Prod_{ijt} + Imp_{ijt} - Exp_{ijt} = Food_{ijt} + Feed_{ijt} + Oth_{ijt} + Waste_{ijt} + VStock_{ijt}, \quad (1)$$

Côté droit de l’équation, la demande alimentaire humaine, $Food$, est issue de la combinaison de données démographiques et de régimes alimentaires ; l’alimentation destinée aux animaux, $Feed$, est une fonction linéaire de la production de produits animaux (technologie à coefficients fixes) ; les autres usages de produits agricoles, Oth , concernent le développement des biocarburants et autres usages industriels ; les pertes et gaspillages post-récolte, $Waste$, recouvrent principalement les stades du stockage, du transport et de la distribution et sont fixés comme restant proportionnellement constants aux usages domestiques totaux (les pertes à la consommation sont, quant à elles, intégrées dans la variable $Food$) ; les variations de stocks, $VStock$, exprimées en proportion des usages totaux, sont

⁵ Des données complémentaires à ces *Food Balances* ont été utilisées pour lier les productions de produits animaux et les produits utilisés en alimentation animale, y compris pour les fourrages dont il a aussi fallu estimer les productions.

⁶ Le modèle GlobAgri, quelle qu’en soit la version (ici, GlobAgri-AE2050), mobilise des quantités de biens agricoles, exprimées en tonnes dans les *Food Balances* de la FAO. Il les traduit en kcal de sorte à pouvoir donner une image cohérente des volumes globaux de biens agricoles produits, consommés ou échangés. Ce recours aux unités de mesure des apports énergétiques est assez classique pour appréhender les besoins nutritionnels. Il pourrait ou devrait néanmoins être complété par une approche pour centrer sur les apports protéiques, ce qui nécessiterait de recourir à une autre unité de mesure (g. de protéines) et donc à de nouvelles tables de conversion.

également conservées constantes dans les différentes simulations. Côté gauche, les importations, *Imports*, sont intégrées comme une part fixe des usages domestiques totaux de chaque produit dans chaque région et les exportations, *Exports*, sont intégrés comme des parts constantes du marché mondial de chaque produit, attribuées à chaque région. Les échanges mondiaux sont toujours à l’équilibre. La production, *Prod*, s’ajuste pour garantir cet équilibre.

La production agricole est ici désagrégée en 38 catégories de produits (cultures, fourrages, produits animaux) et le monde découpé en 14 régions (avec un sous-découpage de l’Europe en 8 régions pour les besoins de l’étude Tibi *et al.*, 2020). Le continent africain n’est découpé ici qu’en seulement 3 régions (Figure 2.1) : Afrique du Nord ; Afrique de l’Ouest ; Afrique de l’Est, centrale et du Sud (ECS). Notons tout d’abord que la plupart des travaux portant sur la sécurité alimentaire mondiale ne considère en Afrique que deux régions : l’Afrique du Nord et l’Afrique sub-saharienne (e.g. Alexandratos et Bruisnma, 2012 ; FAO, 2018 ; Erb *et al.*, 2016 ; van Meijl *et al.*, 2020). A l’instar de la prospective Agrimonde-Terra (Le Mouël *et al.*, 2018 ; Mora *et al.*, 2020), nous avons souhaité conserver ici la distinction de l’Afrique de l’Ouest, laissant ainsi se constituer en « région » une vaste étendue du continent africain identifiée, en dépit de sa forte hétérogénéité interne, comme « Afrique de l’Est, centrale et du Sud ». Un tel découpage n’autorise bien sûr pas une grande précision en matière de disparités géographiques intracontinentales, notamment au sein de la « région » Afrique de l’Est, centrale et du Sud.⁷ Malgré ce défaut, il permet néanmoins d’appréhender à grands traits les enjeux de disponibilité alimentaire de l’ensemble du continent africain à l’horizon souhaité.

Figure 2.1 – Découpage mondial en 14 grandes régions, dont 3 régions africaines

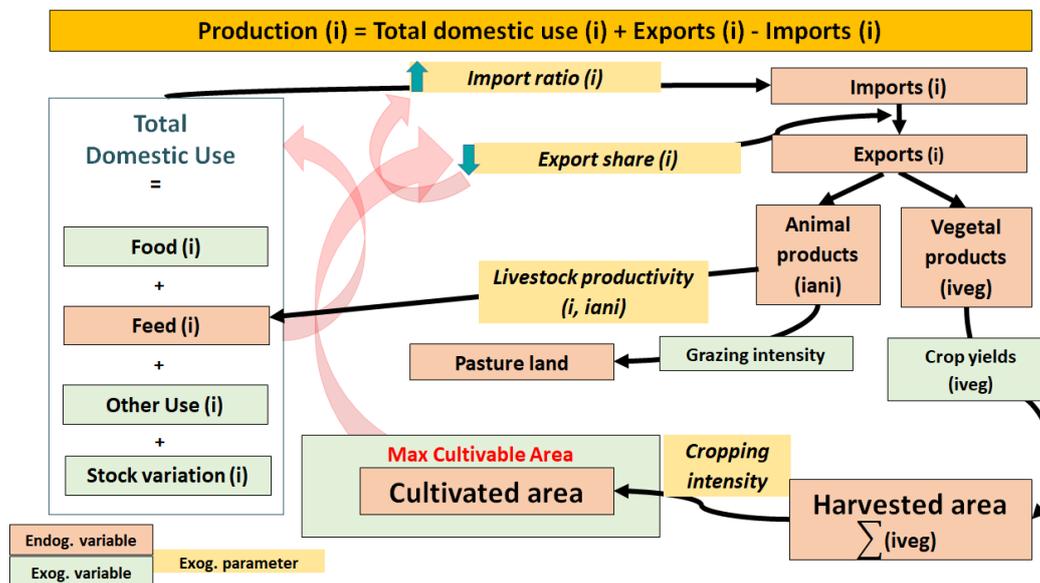


Pour répondre à la demande en produits agricoles de chaque région telle que fixée *a priori*, les besoins en surfaces récoltées sont calculés en fonction de la production à atteindre et des rendements projetés des produits végétaux (Figure 2.2). L’intensité culturale attribuée à chaque région permet de convertir

⁷ Il eut été envisageable de procéder à un découpage plus précis et plus cohérent de l’ensemble Afrique de l’Est, centrale et du Sud (ECS), à l’image de ce qui a été fait pour l’Afrique de l’Ouest. Ce travail aurait nécessité de repartir des *Food Balances* de la FAO de chaque pays et de les ré-agréger en nouvelles régions. Non prévu dans la présente étude, ce redécoupage constituerait une piste intéressante de prolongement de nos résultats. Un nouveau découpage de l’ensemble africain aurait certes permis d’être plus précis sur les différentes situations intra-africaines mais il n’aurait que peu modifié les grands résultats que la présente étude met en débat.

ces besoins en surfaces récoltées en besoins en surfaces cultivées qui sont comparés aux disponibilités en surfaces cultivables de chaque région, agissant alors comme autant de contraintes de surfaces.

Figure 2.2 – Schéma simplifié du fonctionnement du modèle de bilan GlobAgri



Les équilibres finaux à 2050 dépendent donc des terres cultivables disponibles au sein de chaque région. Si, dans une région donnée, il existe suffisamment de terres cultivables pour répondre aux besoins, les surfaces cultivées peuvent s’étendre librement et la production domestique peut couvrir les besoins domestiques en produits agricoles sans modifier les coefficients d’importation et les parts de marché à l’export de cette région. A l’inverse, si les besoins en surfaces cultivées d’une région excèdent sa disponibilité en terres cultivables, la région doit limiter l’extension de ses surfaces cultivées à la contrainte de terres cultivables, l’équilibre emplois-ressources nécessitant alors un ajustement par réduction des parts de marché à l’export et, si cela s’avère insuffisant, par accroissement des coefficients d’importation. Au nouvel équilibre, les parts de marché à l’export et les coefficients d’importation des régions qui dépassent leur contrainte en terres cultivables évoluent donc de façon endogène à partir de leurs niveaux initiaux, les parts de marché à l’export des régions qui ne butent pas sur leurs contraintes de terres cultivables s’ajustant de façon à combler les besoins non couverts dans les régions contraintes.

Une équation simplifiée est introduite dans le modèle pour cinq productions fourragères complémentaires (« Grass », « Grass-like forage », « Other forages », « Occasionals » et « Crop Residues »). Comme ces productions ne font pas l’objet d’échanges internationaux, leur production domestique est donc supposée égale à leur demande domestique pour l’alimentation animale. Les surfaces utilisées en « Grass » (prairies permanentes), « Grass-like forage » (prairies temporaires), « Other forages » (fourrages cultivés non herbacés⁸) sont évaluées à partir de la production nécessaire en utilisant une intensité de pâturage (« grazing intensity ») comme proxy du rendement en herbe pour la catégorie « Grass », et les rendements proposés par Monfreda *et al.* (2008) pour les catégories « Grass-like forage » et « Other forages ».⁹ Les surfaces utilisées pour « Grass-like forage » et « Other forages » sont intégrées dans les surfaces cultivées et sont donc soumises à la contrainte de

⁸ Agrégat rassemblant plusieurs types de fourrages cultivés (légumineuses, céréales fourragères, carotte fourragère...).

⁹ Pour les fourrages cultivés, les variations régionales du rendement entre 2010 et 2050 sont estimées, dans AE2050, comme la moyenne pondérée des variations des rendements des produits entrant dans la composition de l’agrégat. Les variations régionales de rendement des prairies temporaires sont supposées égales à celles des fourrages cultivés.

terres cultivables. Compte tenu de l’imprécision des surfaces à considérer comme telles, les surfaces en « Grass » en sont au contraire exclues et peuvent s’étendre librement en fonction des besoins de production. On verra, par la suite, que cette façon de procéder est susceptible de poser problème, notamment en Afrique, dès lors que l’extension des surfaces en « Grass » serait très / trop importante. C’est pourquoi l’évolution des surfaces en herbe mobilisées par le cheptel sera traitée à part et fera l’objet d’une section particulière.

Si un tel modèle de bilan se caractérise, du fait de l’absence de mécanisme de prix, par une forte rigidité de détermination des solutions, il a l’avantage d’offrir une forte flexibilité sur les hypothèses relatives aux variables exogènes qui déterminent les conditions de la demande en produits agricoles et les conditions techniques de leur production. Les résultats des simulations sont à comprendre comme relevant d’une simple évaluation des capacités physiques de chaque région du monde à répondre, compte tenu de conditions techniques fixées *a priori*, aux évolutions envisagées des besoins en biens agricoles de sa population tout en conservant le plus possible sa place dans les échanges mondiaux.

2.2. Modes de projection des variables exogènes et des paramètres du modèle

Parmi les variables et paramètres qu’il est nécessaire de projeter en amont de la simulation, il y a lieu d’insister (i) sur les deux variables clés qui déterminent la demande alimentaire, fruit de la combinaison des évolutions démographiques et nutritionnelles, (ii) sur les variables déterminant les conditions techniques de production (rendements végétaux, intensités culturales et efficacités animales), ainsi que (iii) sur les disponibilités en terres cultivables de chaque région.

Au-delà de ces variables dont les modalités de projection à 2050 sont décrites ci-dessous, notons que les pertes et gaspillages (entre les stades de la production et de la consommation) ainsi que les variations de stocks de produits agricoles, intégrées tous deux dans le modèle en proportion des usages totaux sont maintenues aux mêmes proportions que pour l’année de référence « 2010 ». De même, les parts de marché à l’export et les coefficients d’importation sont, au début du processus de simulation, ceux de l’année de référence, valeurs à partir desquelles ils sont susceptibles d’être modulés en cas de limitation des disponibilités en terres cultivables (*cf. supra*). Enfin, on se référera à Forslund *et al.* (2020, pp. 54-68) pour le travail spécifique réalisé en ce qui concerne les autres usages des productions agricoles, aspect qui n’est pas détaillé ici car influençant peu les demandes africaines.

2.2.1. Une très importante croissance attendue de la population africaine

Comme classiquement, on s’est appuyé ici sur les projections démographiques de l’ONU (*World Population Prospects*) dans leur révision 2017. Les populations projetées à 2050 sont obtenues en appliquant les taux de croissance médians estimés par l’ONU (2017) à la population de l’année de référence « 2010 ». La population mondiale passerait alors de 6,8 milliards d’habitants en « 2010 » à près de 9,5 milliards en 2050 (Tableau 2.1).

Sous cette hypothèse, la population du continent africain serait multipliée par 2,4 et passerait ainsi d’un peu moins d’1 milliard d’habitants en « 2010 » à près de 2,3 milliards à l’horizon 2050. Cette augmentation de 1,3 milliard se traduirait par un accroissement de son poids dans la population mondiale, de 14 % en « 2010 » à 24 % en 2050. Cette dynamique démographique, qui va peser lourdement sur l’évolution de la demande alimentaire du continent, est principalement le fait de l’Afrique subsaharienne prise dans son ensemble et de chacune des deux « régions » distinguées en son sein ; l’Afrique du Nord avec une croissance de +64 % reste quelque peu en deçà de la tendance continentale.

Tableau 2.1 – Evolution démographique 2010-2050 de chaque région du monde
(en millions d’habitants)

	Population « 2010 » (Mhab)	Population 2050 (Mhab)	Variation « 2010 »-2050	
			(Mhab)	(%)
Europe	534,8	535,2	+0,3	+0,1%
Canada & Etats-Unis	342,8	434,5	+91,8	+26,8%
Brésil, Argentine	238,0	287,9	+49,9	+21,0%
Reste de l’Amérique	354,3	484,7	+130,4	+36,8%
Ex-URSS	277,8	289,3	+11,5	+4,1%
Chine	1 390,4	1 396,4	+5,9	+0,4%
Inde	1 230,8	1 659,0	+428,1	+34,8%
Reste de l’Asie	1 196,9	1 609,2	+412,3	+34,4%
Proche & Moyen-Orient	262,0	426,3	+164,2	+62,7%
Afrique du Nord	163,4	268,4	+105,1	+64,3%
Afrique de l’Ouest	304,2	800,7	+496,5	+163,2%
Afrique E.-C. & S.	483,0	1 214,6	+731,6	+151,5%
Ensemble Afrique	950,6	2 283,7	+1 333,2	+140,2%
Océanie	28,9	45,1	+16,2	+56,0%
Reste du monde	4,4	3,8	-0,6	-14,3%
TOTAL Monde	6 811,7	9 455,1	+2 643,3	38,8%

Source : ONU (2017)

2.2.2. Des régimes alimentaires qui, aujourd’hui, couvrent difficilement les besoins nutritionnels en Afrique et dont les évolutions pourraient diverger par rapport aux autres régions du monde

Deux hypothèses d’évolution potentielle des régimes alimentaires, exprimés en kcal/hab/jour, ont été retenues : l’une poursuivant les tendances passées constitue des régimes dits « tendanciels » ; l’autre, constituant un scénario de rupture et visant une convergence vers des régimes alimentaires évitant tout autant sous-nutrition que surnutrition, constitue des régimes dits « sains ».

Les « régimes tendanciels » 2050 ont été élaborés à partir des projections de consommation alimentaire menées pour la FAO par Alexandratos et Bruinsma (2012). La consommation alimentaire de chaque groupe de produits est projetée comme une fonction du PIB par habitant, éventuellement ajustée pour tenir compte des tendances passées des apports alimentaires et en cohérence avec les niveaux attendus de production et d’échanges. Ces projections poursuivent les transitions nutritionnelles actuellement en cours.

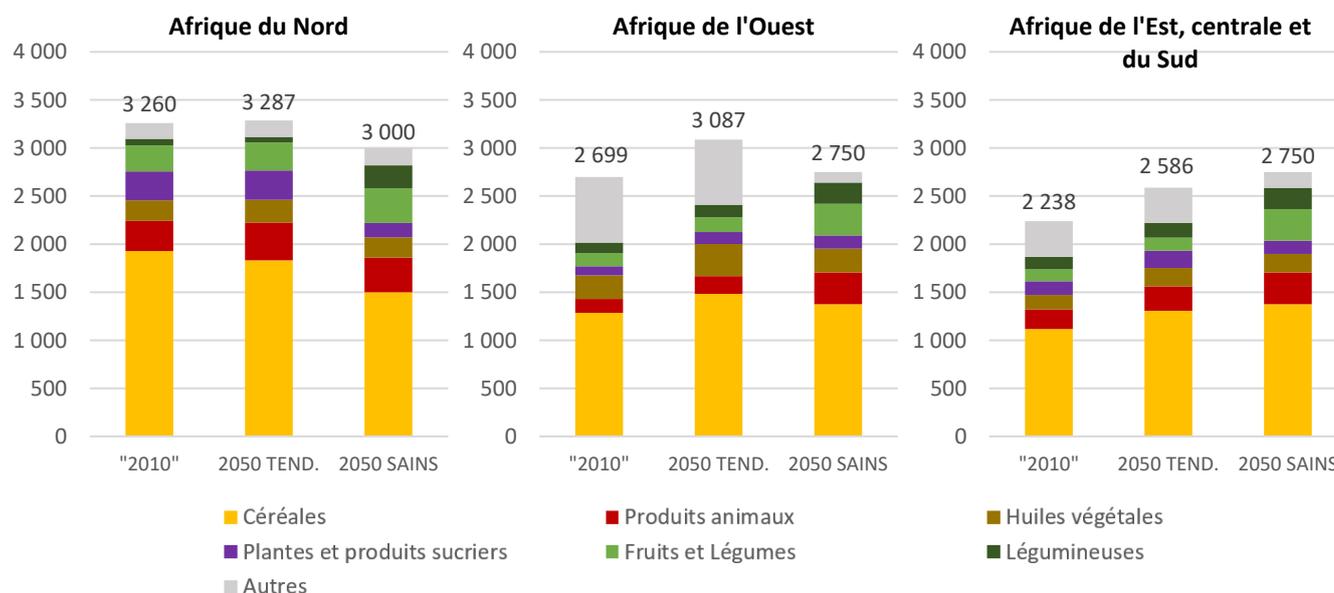
Les « régimes sains », en rupture par rapport aux trajectoires précédentes tant en apports caloriques totales qu’en composition de la diète quotidienne, sont largement inspirés du scénario dit « *Healthy* » de la prospective Agrimonde-Terra (Le Mouël *et al.*, 2018 ; Mora *et al.*, 2020). Cette option, très normative, s’appuie sur les recommandations nutritionnelles de l’OMS et vise à lutter contre les phénomènes de sous-nutrition et de surnutrition. Les régimes qui en résultent sont calibrés comme suit : (i) apports caloriques totaux ajustés à 2 750 kcal/hab/jour pour les régions où ce seuil n’est pas atteint en « 2010 », à 3 000 kcal/hab/jour pour les régions initialement au-dessus de ce seuil, et maintenus constants pour les régions initialement entre les seuils de 2 750 et 3 000 kcal/hab/jour ; (ii) ajustement de la part des produits animaux¹⁰ dans les apports totaux entre 12 et 20 % selon le niveau initial observé pour la région (avec maintien constant des parts respectives de chaque produit animal

¹⁰ Produits animaux qui incluent les produits de la pêche et de l’aquaculture.

dans l’ensemble des calories animales)¹¹ ; (iii) ajustement des parts de légumineuses entre 5 et 8 % avec ajustement de la part des céréales permettant de combler les besoins totaux en protéines compte tenu des apports en protéines animales et en légumineuses ; (iv) ajustement des parts de fruits et légumes, d’huiles végétales et de produits sucriers à respectivement 12 %, 10 % et 5 %.

Sous ces hypothèses, les évolutions des apports nutritionnels tendent à diverger entre les trois régions africaines (Figure 2.3). Les apports nutritionnels totaux de l’Afrique du Nord, déjà conséquents en « 2010 », se maintiendraient à l’horizon 2050 sous l’hypothèse de « régimes tendanciels » et seraient amenés à diminuer d’environ 9 % en cas d’adoption de « régimes sains ». A l’inverse, les apports nutritionnels augmenteraient de façon significative en Afrique de l’Est, centrale et du Sud en cas de « régimes tendanciels » (+16 %), croissance qui serait encore plus marquée en cas de passage à des « régimes sains » (+23 %). Les dynamiques nutritionnelles récentes en Afrique de l’Ouest se traduisent par des profils d’évolution encore différents à l’horizon 2050 : croissance marquée des apports totaux en cas de « régimes tendanciels » (+14 %) et quasi maintien de ces mêmes apports totaux en cas de transition vers des « régimes sains ».

Figure 2.3 – Evolution 2010-2050 des régimes alimentaires moyens des trois régions africaines selon les deux hypothèses de régimes « tendanciels » et « sains » (en kcal/hab/jour)



Sources : Forslund et al. (2020) d’après FAOStat, Alexandratos & Bruinsma (2012), Le Mouël et al. (2018)

Dans chacune des trois régions africaines, on retrouve bien la croissance attendue des volumes consommés en fruits et légumes et en légumineuses, notamment en cas de transition vers des « régimes sains ». Notons de plus qu’en cas de passage à des « régimes sains », la consommation en produits végétaux « autres » et notamment en tubercules, a tendance à s’effondrer en Afrique

¹¹ Selon le même principe que celui adopté pour l’évolution des apports caloriques, les parts de produits animaux dans les apports totaux sont ramenées en 2050 à 20 % pour les régions qui dépassent ce seuil en « 2010 » et elles sont augmentées jusqu’à 12 % pour les régions qui se situent sous ce seuil en « 2010 », les régions dont la part des produits animaux est comprise en « 2010 » entre 12 et 20 % des apports totaux, conservant la même proportion de leurs apports provenant des produits animaux. Cette façon de procéder infléchit fortement, sans pour autant les contraindre trop massivement, les régimes alimentaires aux apports animaux trop élevés, typiquement les régions à pays industrialisés ou émergents (L’Europe, le Canada-Etats-Unis à 25 % en « 2010 » mais aussi l’ensemble des pays de l’Ex-URSS à 21 % ou la Chine à 20 %) et fait progresser les régimes à apports animaux très ou trop faibles, comme en Afrique du Nord (10 %), en Afrique subsaharienne (9 % en Afrique ECS et 5 % en Afrique de l’Ouest) ou en Inde (9 %).

subsaharienne, alors qu’ils constituent une part importante de la consommation de ces régions en « 2010 » et de la consommation en 2050 dans le cas d’une évolution tendancielle des régimes alimentaires.

De leur côté, du fait de leur poids faible dans les rations alimentaires initiales en Afrique (inférieur à 12 %), le nombre de calories animales fournies quotidiennement a tendance à augmenter très fortement quelle que soit l’hypothèse de régimes retenue : ainsi, en Afrique du Nord, ce nombre passerait de 314 kcal/hab/jour en « 2010 » à 393 kcal/hab/jour en cas de « régimes tendanciels » et se « tasserait » quelque peu à 360 kcal/hab/jour en cas de « régimes sains » ; en Afrique de l’Ouest, il évoluerait de 143 kcal/pers/jour en 2010 à 185 kcal/hab/jour en « régimes tendanciels » et à 330 kcal/hab/jour en « régimes sains », alors qu’en Afrique de l’Est, centrale et du Sud, il s’accroîtrait de 205 kcal/hab/jour en 2010 à 254 kcal/hab/jour en « régimes tendanciels » et à 330 kcal/hab/jour en « régimes sains »¹². Ainsi, et contrairement à ce que l’on observerait dans les régions les plus développées, dans le cas de l’adoption de « régimes sains », les apports quotidiens en calories animales sont susceptibles d’augmenter fortement dans chacune des trois régions africaines par rapport à 2010 : +25 % en Afrique du Nord, +61 % en Afrique de l’Est, centrale et du Sud et +130 % en Afrique de l’Ouest¹³. Dans ces deux régions subsahariennes, la croissance du nombre de calories animales à apporter quotidiennement à chaque habitant serait en outre nettement plus marquée en cas de « régimes sains » que « tendanciels ». De telles évolutions, induites en ce qui concerne les « régimes sains » par l’hypothèse d’ajustement à 12 % du poids des produits animaux dans les apports caloriques totaux des régions subsahariennes, constituent une véritable spécificité africaine qui va se traduire par une forte pression de la demande en produits végétaux, cultures et fourrages destinés à l’alimentation animale, et ce quel que soit le type de régime vers lequel évolue la consommation alimentaire africaine.

2.2.3. Des rendements végétaux initialement bas dont les potentialités de croissance par progrès technique pourraient être freinées par les effets du changement climatique

Les projections de rendements végétaux à l’horizon 2050 sont cruciales pour évaluer la capacité de chaque région à couvrir ses besoins en produits agricoles, et ses besoins afférents en surfaces cultivées. Plusieurs types d’incertitudes pèsent sur les évolutions potentielles des rendements à ces horizons.

La première porte sur les effets du changement climatique qui fait l’objet de débats importants au sein des communautés scientifiques sur les facteurs à prendre en compte et l’ampleur des effets de chacun, culture par culture. Un des points de discussion porte aujourd’hui sur la réponse potentielle des cultures à l’augmentation des concentrations atmosphériques en CO₂, qui peut varier entre les cultures (et les variétés) et surtout ne s’exprimer qu’en cas de satisfaction des besoins en eau et en nutriments complémentaires (Toreti *et al.* 2020). Pour capter les effets du changement climatique sur les évolutions de rendements, on s’est appuyé sur la méta-analyse réalisée par Makowski *et al.* (2020).¹⁴

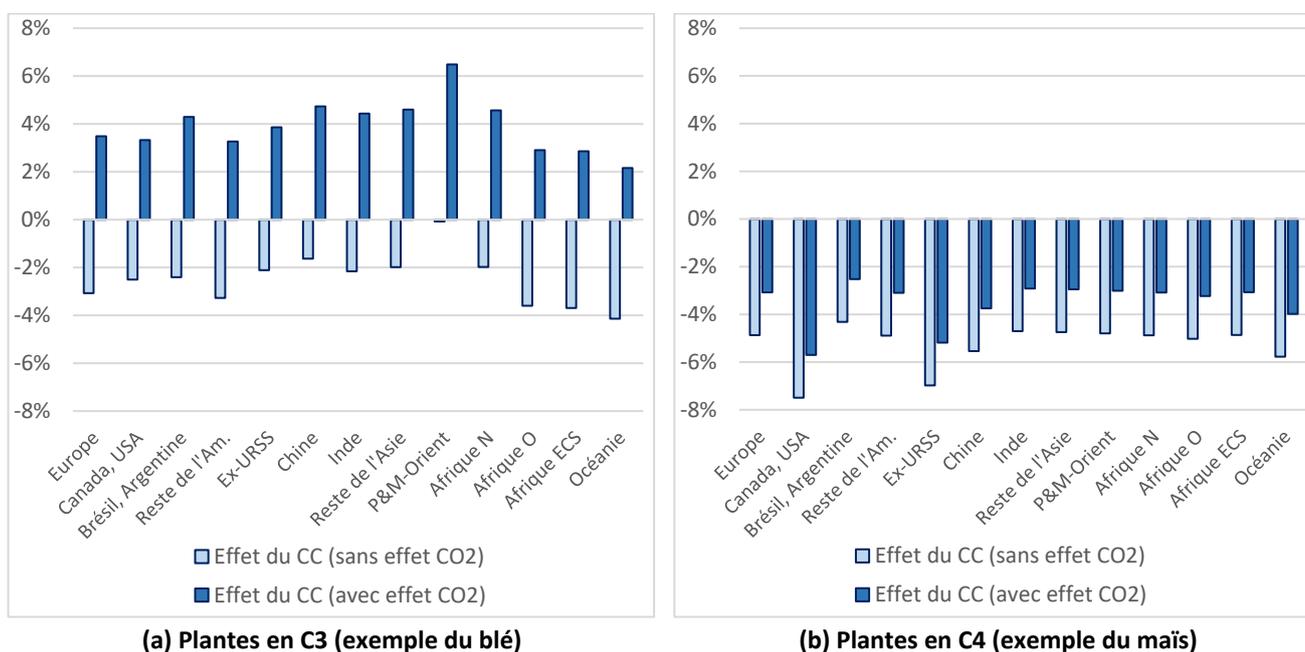
¹² Notons que parmi les différentes catégories de produits animaux, les produits de la pêche et de l’aquaculture pèsent peu, hormis en Afrique de l’Ouest où, selon les données FAO, ils représentent en « 2010 » environ 1/3 des kcal apportées par les produits animaux. Compte tenu de la forte augmentation des apports en produits animaux dans cette région en cas de transition vers des régimes « sains », le poids des produits aquatiques passerait à 3,9 % de la consommation totale de cette seule région africaine. Ailleurs, ils continueraient à peser peu (1,5 % en Afrique du Nord et 0,8 % en Afrique ECS).

¹³ Rappelons que par construction, l’hypothèse « régimes sains » ne prévoit pas d’évolution différenciée de la demande selon les catégories de produits animaux considérées. Il en résulte que le poids des différentes catégories de produits animaux dans les apports totaux en calories animales resterait inchangé entre « 2010 » et 2050 en cas d’adoption de « régimes sains ».

¹⁴ Celle-ci s’appuie sur un corpus de 16 articles scientifiques couvrant peu ou prou le monde et répondant aux trois critères suivants : analyser l’impact du changement climatique sur le rendement d’au moins une culture ; mobiliser au moins trois méthodes d’estimation du rendement et/ou d’au moins trois modèles de culture ; expliciter des valeurs de rendement et les caractéristiques des évolutions climatiques testées ([CO₂], température, précipitation). Sans embarquer explicitement

En se plaçant dans une hypothèse climatique correspondant à la trajectoire d’émissions portée par le scénario RCP-6.0 (IPCC, 2014)¹⁵, l’impact du changement climatique sur les rendements des cultures prend en compte les évolutions des températures moyennes, des précipitations moyennes et de la concentration atmosphérique en CO₂. Placées dans des conditions de croissance identiques (notamment en termes d’accès à l’eau et aux nutriments), la réponse des espèces végétales diffère notamment face à la concentration en CO₂. Pour les plantes en C3 (blé, riz, soja et orge, par exemple), l’effet potentiellement positif d’une concentration élevée en CO₂ sur le rendement compense largement les effets négatifs des deux autres facteurs (températures et précipitations). Pour les plantes en C4 (maïs, sorgho) au contraire, l’effet potentiel de la concentration en CO₂ reste insuffisamment fort pour éviter les baisses de rendements pour ce type de plantes (Figure 2.4).

Figure 2.4 – Effets potentiels du changement climatique sur les évolutions à l’horizon 2050 du rendement des plantes en C3 (a - ex. du blé) et des plantes en C4 (b - ex. du maïs) (évolutions « 2010 »-2050 en %)



(a) Plantes en C3 (exemple du blé)

(b) Plantes en C4 (exemple du maïs)

Sources : Makowski et al. (2020) ; Tibi et al. (2020)

Si les effets du changement climatique sur les plantes en C3 sont assez similaires en Afrique du Nord à ce qui se passe dans le reste du monde (entre -2 % sans prise en compte de l’effet [CO₂]) et +5 % avec prise en compte de l’effet [CO₂]), il n’en est pas de même pour les deux régions de l’Afrique subsaharienne. En effet, les rendements des plantes en C3 de ces deux régions risquent d’être les plus pénalisés au monde avec des baisses allant jusqu’à -4 % par rapport aux rendements 2010, la valorisation des effets possibles du CO₂ compensant ces baisses sans pour autant limiter les handicaps africains (+3 % entre « 2010 » et 2050 pour les régions subsahariennes). L’impact sur les plantes en C4 est de même ampleur dans les trois régions africaines que dans les autres régions du monde (-5 % sans valorisation de l’effet CO₂; -3 % en cas de valorisation de l’effet CO₂).¹⁶

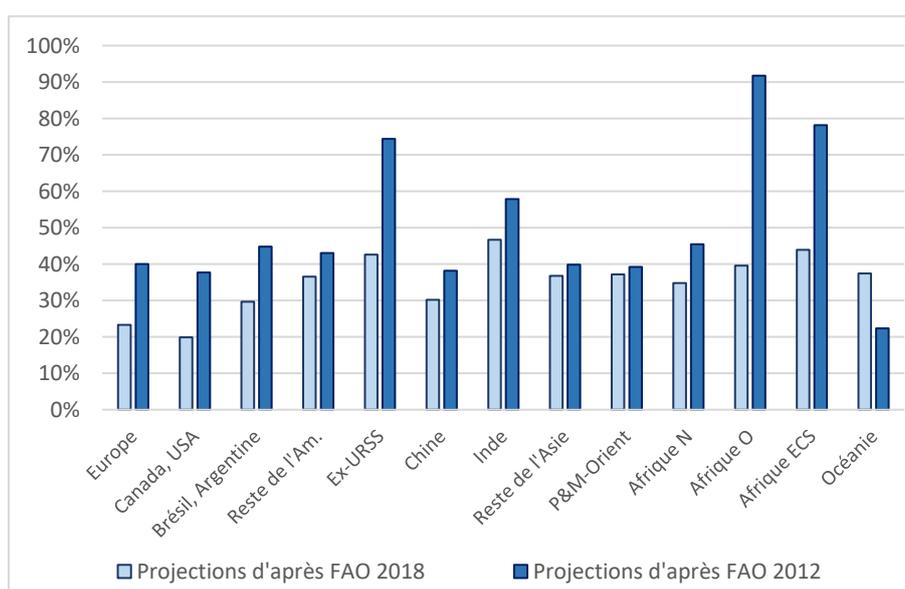
les articles analysant l’impact du changement climatique en contexte africain, cette méta-analyse englobe de fait les spécificités de ce type de contexte.

¹⁵ RCP : *Representative Concentration Pathways*. On retient ici le RCP-6.0, c’est-à-dire la trajectoire d’émissions de gaz à effet de serre de type « laisser faire », correspondant à un forçage radiatif de +6,0 W/m² pour l’année 2100.

¹⁶ On retrouve ici des résultats proches de ceux obtenus dans des contextes spécifiquement africains comme ceux de Roudier et al. (2011) pour le seul contexte de l’Afrique de l’Ouest, avec néanmoins une ampleur quelque amoindrie.

La seconde zone d’incertitude relative aux évolutions des rendements concerne les effets que les changements techniques (progrès technique, changements de pratiques, etc.) pourraient avoir sur les évolutions des rendements des cultures. Là aussi, les débats sont intenses (Aggarwal *et al.*, 2019). Nous nous sommes appuyés ici directement sur deux séries de projections proposées successivement par la FAO à partir de ses propres projections de tendances modulées par les dires de ses experts : les projections proposées à la FAO par Alexandratos et Bruinsma en 2012 (que nous nommerons « FAO (2012) ») et les projections plus récentes de 2018 intégrées dans son rapport FAO (2018) en nous centrant sur les projections « progrès technique » du scénario *Business As Usual*. Les projections FAO (2012) sont, dans la majorité des situations, plus optimistes que les projections FAO (2018) (Figure 2.5).

Figure 2.5 – Effets potentiels des évolutions techniques sur les évolutions à l’horizon 2050 des rendements des cultures, toutes espèces confondues
(évolution « 2010 »-2050 en % des rendements moyens des cultures)



Sources : FAO (2012, 2018) ; Tibi *et al.* (2020)

Quelle que soit l’option retenue, les évolutions envisagées des rendements végétaux en Afrique sont le plus souvent de plus forte ampleur que dans d’autres régions du monde. Partant d’un niveau initial qui est le plus bas de toutes les régions du monde (Figure 2.5), cet écart est particulièrement marqué en Afrique subsaharienne avec la série FAO (2012), l’hypothèse sous-jacente étant celle d’un décollage technique important à l’horizon 2050 : ainsi, sous les seuls effets des évolutions techniques, les rendements (moyens toutes cultures confondues) seraient susceptibles de s’accroître entre « 2010 » et 2050 de +92 % en Afrique de l’Ouest et de +78 % en Afrique de l’Est, centrale et du Sud. A l’inverse, bien qu’encore forte par rapport au reste du monde, cette croissance des rendements apparaît nettement plus modérée sous l’hypothèse plus récente de FAO (2018) : +40 % en Afrique de l’Ouest et +44 % en Afrique de l’Est, centrale et du Sud.

Les évolutions de rendements végétaux utilisées *in fine* dans cette étude combinent logiquement les effets du changement climatique et les effets des changements techniques, en croisant les deux hypothèses d’évolution retenues pour chacun de ces deux facteurs. On opposera ainsi deux jeux de projection de rendements susceptibles de représenter la gamme des incertitudes qui, à l’horizon 2050, pèsent sur l’évolution de ce déterminant clé des équilibres des systèmes alimentaires mondiaux :

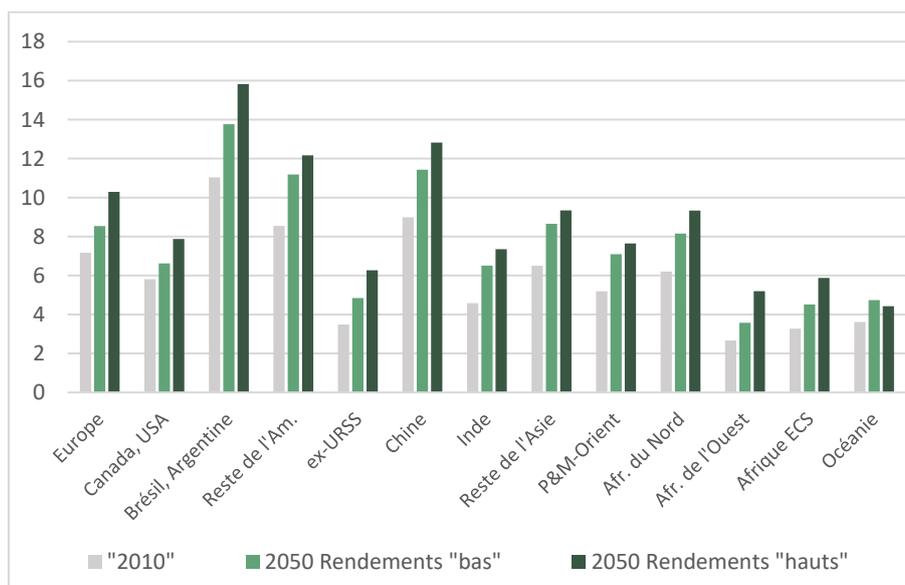
- Des « Rendements bas » qui résultent de la combinaison des évolutions techniques modérées (projections FAO 2018 du volet *Technical Progress* du scénario *Business As Usual*) et d’un changement

climatique sans expression au champ de l’effet du CO₂ du fait du manque possible, sous l’hypothèse technique adoptée, des facteurs de production nécessaires à cette valorisation (eau, fertilisants).

- Des « Rendements hauts » qui envisagent, d’une part, des effets plus marqués des évolutions techniques (tels que dans FAO 2012) et, d’autre part, la pleine valorisation de l’effet CO₂, du fait dans ce cas de la disponibilité des moyens techniques pour la mettre en œuvre.

Une fois combinés les effets climatiques et techniques, les projections des rendements des cultures en Afrique présentent, quelle que soit l’hypothèse retenue, des profils de croissance « 2010 »-2050 plus accentuée que dans le reste du monde (Figure 2.6). Cet écart est particulièrement sensible dans l’hypothèse de « Rendements hauts » où cette augmentation serait de +95 % en Afrique de l’Ouest et de +80 % en Afrique de l’Est, centrale et du Sud ; il serait nettement plus restreint sous hypothèse d’évolutions des « Rendements bas » avec une croissance respective de +34 % et +38 %. Néanmoins, compte tenu de la faiblesse des rendements observés en début de période sur le continent africain, ces fortes augmentations ne permettraient pas d’atteindre des niveaux de rendements similaires aux autres régions du monde. Les rendements des cultures resteraient, en dépit des efforts envisagés, assez nettement en deçà de ceux observés dans la plupart des autres régions du monde, l’Afrique subsaharienne étant particulièrement concernée par cette faiblesse (Figure 2.6).

Figure 2.6 – Projections des rendements végétaux à l’horizon 2050 : effets combinés du changement climatique et des évolutions techniques
(en tonnes par ha, toutes cultures confondues)



Sources : Tibi et al. (2020) d’après FAOStat, Makowski et al. (2020) et FAO (2012, 2018)

On a traité à part la question des « rendements des prairies permanentes » et de leur évolution pour diverses raisons. Tout d’abord, comme on le verra plus en détail par la suite (cf. infra, section 4.1), la délimitation des surfaces en herbe utilisées par le cheptel et l’estimation de l’intensité d’usage de ces surfaces sont, en l’état actuel des données disponibles, particulièrement délicates dans plusieurs régions du monde, ce qui se traduit par une forte imprécision du niveau actuel des rendements concernés. Par ailleurs, les évolutions techniques à venir sont insuffisamment documentées dans la littérature scientifique pour permettre une estimation quelque peu « fiable » de leurs effets sur les projections des rendements initiaux.

C’est pourquoi on a retenu ici une hypothèse particulièrement restrictive qui fera l’objet par la suite d’une analyse de sensibilité spécifique. Les évolutions de rendements des prairies permanentes ou de

l’intensité d’usage des surfaces en herbe sont soumises aux seuls effets du changement climatique, sans effet d’évolutions techniques. En prenant en compte la possibilité d’une expression ou non des effets liés à l’évolution de la concentration atmosphérique en CO₂ dans les évolutions de rendement de l’herbe sous le seul effet du changement climatique, on obtient également une double série de rendements à l’horizon 2050, avec une hypothèse basse et une hypothèse haute (Tableau 2.2).

Table 2.2 – Rendements de l’herbe ou Intensités d’usage des prairies par le cheptel en « 2010 » et projections à 2050 (en tonnes de matière sèche par ha, t. MS/ha)

	« 2010 »	2050	
		Rdts bas = « 2010 » + CC hors valorisation [CO ₂]	Rdts hauts = « 2010 » + CC avec valorisation [CO ₂]
France	5,20	5,03	5,37
Allemagne	5,77	5,66	6,04
Royaume-Uni	3,03	2,97	3,19
Pologne	2,90	2,79	2,97
Europe du Sud	0,27	0,26	0,28
Europe de l’Est	0,60	0,57	0,61
Europe centrale	2,94	2,84	3,02
Reste de l’Europe	5,36	5,28	5,63
Canada & Etats-Unis	0,74	0,72	0,76
Brésil-Argentine	2,13	2,08	2,23
Reste de l’Amérique	0,94	0,91	0,97
Ex-URSS	0,20	0,19	0,20
Chine	0,63	0,62	0,66
Inde	2,20	2,15	2,29
Reste de l’Asie	1,02	1,00	1,07
Proche & Moyen-Orient	0,19	0,19	0,20
Afrique du Nord	0,42	0,41	0,44
Afrique de l’Ouest	0,53	0,51	0,55
Afrique E., C. & S.	0,63	0,61	0,65
Océanie	0,42	0,40	0,43
Reste du monde	0,19	0,19	0,20
Ensemble Monde	0,76	0,69	0,73

Sources : Forslund et al. (2020) d’après FAOStat et Makowski et al. (2020)

Cette façon de procéder, particulièrement conservatrice, se traduit mécaniquement par une très faible évolution des intensités d’usage de l’herbe dans toutes les régions du monde. Elle se cumule, pour le continent africain, avec les performances actuelles relativement faibles des usages de l’herbe dues notamment aux spécificités de l’élevage, du pastoralisme et des fonctions particulières attribuées au cheptel en Afrique (Toutain *et al.*, 2012). Ainsi, pour chacune des trois régions africaines distinguées, l’écart de l’intensité d’usage des prairies avec la moyenne mondiale persiste dans nos projections à l’horizon 2050, l’Afrique du Nord et l’Afrique de l’Ouest affichant les écarts les plus importants.

2.2.4. L’hypothèse d’une intensité culturelle (CI) constante dans le temps

Complémentairement aux rendements des cultures, l’intensité culturelle, *i.e.* le ratio entre les surfaces récoltées et les surfaces cultivées, est un des facteurs clés de description des conditions techniques de production en matière végétale à l’échelle agrégée qui est la nôtre. Dans les projections ou prospectives relatives aux enjeux de sécurité alimentaire, ce paramètre est rarement explicité et les projections de ses évolutions encore plus rarement mises à disposition. Or, ce facteur peut avoir un rôle majeur dans l’extension plus ou moins forte des surfaces cultivées pour faire face aux besoins. Nous nous sommes ici appuyés sur les intensités culturelles (CI) régionales « 2010 » de FAOStat : ratio

entre la somme de toutes les surfaces de cultures récoltées (incluant nos propres estimations pour les cultures fourragères et les prairies temporaires, non disponibles dans les statistiques de la FAO) et la surface totale des terres mises en cultures annuelles ou permanentes dans la région (Tableau 2.3).

Table 2.3 – Intensités culturelles (CI) régionales en « 2010 »

	Intensité culturelle « 2010 »
Europe	0,85
Canada & Etats-Unis	0,77
Brésil-Argentine	0,87
Reste de l’Amérique	0,85
Ex-URSS	0,65
Chine	1,43
Inde	1,31
Reste de l’Asie	1,02
Proche- & Moyen-Orient	0,75
Afrique du Nord	0,78
Afrique de l’Ouest	0,98
Afrique E., C. & S.	0,81
Océanie	0,62

Source : FAOStat

Quand cet indicateur CI est supérieur à 1, il indique notamment la fréquence des pratiques de cultures multiples (souvent associées à des pratiques d’irrigation), alors qu’une valeur inférieure à 1 suggère la présence de surfaces cultivées non récoltées et de jachères annuelles. Compte tenu de ce qu’il mesure, il peut être délicat de proposer une projection à 2050 d’un tel indicateur, la documentation scientifique disponible étant peu détaillée sur les tendances d’évolution régionale des pratiques qu’il recouvre. Pour limiter les difficultés d’interprétation des résultats et notamment la possible confusion entre le rôle joué par les rendements végétaux et le rôle des intensités culturelles, on a préféré, dans ce travail et à la différence de l’hypothèse retenue dans l’étude Tibi *et al.* (2020), conserver constantes les intensités culturelles régionales entre « 2010 » et 2050.

Comparativement aux autres régions du monde, les intensités culturelles sont assez basses en Afrique du Nord et en Afrique de l’Est, centrale et du Sud, suggérant, en dépit de l’hétérogénéité forte de cette dernière région, une importance particulière des surfaces cultivées non récoltées et/ou des surfaces laissées en jachères annuelles. En Afrique de l’Ouest, la valeur obtenue est proche de 1, suggérant un équilibre ou une compensation entre surfaces en jachère ou non récoltées et surfaces affectées aux cultures multiples (sous réserve que les écarts d’intensités culturelles entre les deux régions subsahariennes soient le reflet d’une réalité de terrain, qu’il n’a pas été possible de vérifier).

2.2.5. Des efficacités animales africaines très en deçà de celles des autres régions du monde, notamment en matière de production bovine (lait et viande)

Dans le modèle GlobAgri-AE2050, la variable « Feed », volume de produits végétaux nécessaire à l’alimentation animale, est une fonction linéaire de la production de biens animaux :

$$Feed_{ijt} = \sum_a \beta_{iajt} * Prod_{ajt}, \quad (a \in I) \quad (2)$$

où β_{iajt} est le coefficient de transformation du produit i en produit animal a dans la région j pour l’année t . L’hypothèse implicite est qu’il n’y a ici pas de substitution entre produits végétaux dans les rations animales : quand la production d’un produit animal augmente, tous les produits végétaux constitutifs de la ration animale définie pour cette production augmentent dans les mêmes proportions, la structure des rations animales restant ainsi inchangée. En sommant tous les produits constitutifs de la ration

animale d’un secteur animal spécifique ($\sum_i \beta_{iajt}$), on obtient le coefficient global β_{ajt} qui peut être considéré comme représentatif de l’efficacité des produits animaux de ce secteur.

Pour l’année de référence (« 2010 »), les coefficients d’efficacité pour le lait et la viande de bœuf ont été obtenus en adaptant la méthodologie Tier-2 du GIEC (IPCC, 2006) permettant ainsi de calculer les besoins en énergie des différentes catégories de ruminants produisant soit du lait (vaches laitières), soit de la viande (toutes les autres catégories, y compris les génisses). Cette approche mobilise des statistiques complémentaires de la FAO sur le cheptel et les paramètres techniques du modèle GLEAM ainsi qu’un modèle démographique développé spécifiquement pour cet exercice afin de diviser le troupeau de ruminants en huit catégories (pour plus de détails, voir Forslund *et al.*, 2020). Elle permet de prendre en compte le lien entre production de lait et production de viande. Pour les porcs, volailles et œufs, les coefficients sont basés sur les statistiques nationales disponibles pour les aliments composés industriels, combinées à des dires d’experts. Pour déterminer la composition des rations alimentaires, un modèle de formulation globale intégrant contraintes nutritionnelles, techniques et juridiques a été utilisé pour répartir entre les espèces (et sous-espèces) animales les données régionales de céréales, tourteaux, autres produits et nutriments utilisés pour l’alimentation animale (Forslund *et al.*, 2020).

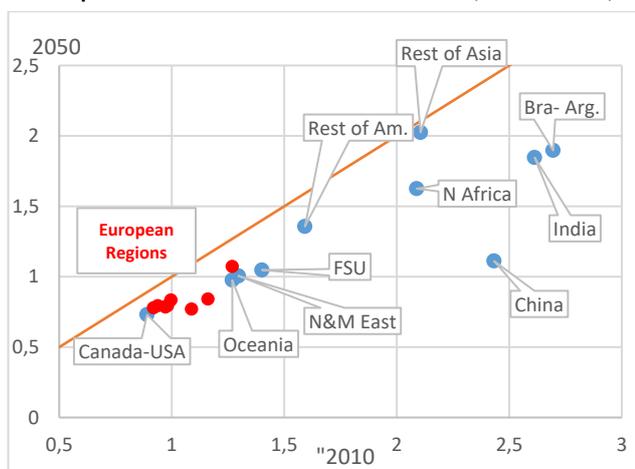
Figure 2.7 – Coefficients globaux des efficacités animales en « 2010 » et en 2050 dans les secteurs des bovins viande (a) et des bovins lait (b)

Régions non représentées :

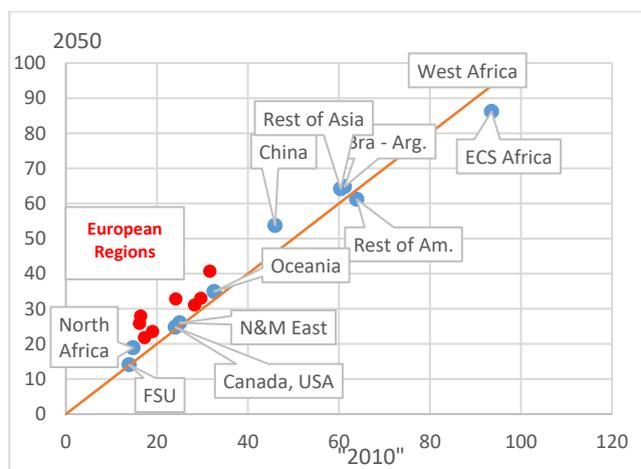
- Afrique E.C. & S. : coefficients « 2010 » = 4,4 et 2050 = 4,4 ;
- Afrique de l’Ouest : coefficients « 2010 » = 8,5 et 2050 = 7,6.

Régions non représentées :

- Inde : coefficients « 2010 » = 281 et 2050 = 346.



(a) Bovins lait



(b) Bovins viande

Sources : Forslund *et al.* (2020)

Les projections à 2050 de ces coefficients d’efficacité animale ont été ajustées sur la base des projections tendanciennes des productivités (production par tête) en utilisant des modèles linéaires ou logarithmiques. Dans les secteurs du lait et de la viande bovine, les niveaux de productivité et de production issus de simulations à coefficients d’efficacité constants ont permis de déduire le futur cheptel de ruminants et de recalculer les coefficients à 2050 à partir de la même méthodologie que ci-dessus. Les rations alimentaires (exprimées en parts relatives des différents ingrédients) sont maintenues constantes entre « 2010 » et 2050, sauf pour le secteur laitier où elles ont été ajustées pour tenir compte du fait que l’augmentation de la productivité laitière requiert un accroissement de la part des fourrages de qualité (c’est-à-dire cultivés) au détriment de l’herbe prélevée sur prairies

permanentes. Par ailleurs, la part des « *occasionals* »¹⁷ dans les aliments du bétail dédiés aux secteurs monogastriques est réduite dans les régions les utilisant pour tenir compte d’une certaine diminution des élevages « *backyard* » au profit des élevages plus industrialisés d’ici à 2050. Les coefficients pour les secteurs des petits ruminants et des produits animaux aquatiques sont tirés de Herrero *et al.* (2013) et Bouwman *et al.* (2005), et sont conservés constants jusqu’en 2050.

Alors que les efficacités animales estimées selon ces approches sont assez peu différenciées entre les régions du monde en ce qui concerne les productions de viande de porcs, de volailles et d’œufs, les écarts sont bien plus marqués en matière de production laitière et de viande bovine (Figure 2.7). Pour ces productions, les régions de l’Afrique subsaharienne affichent des coefficients d’efficacité particulièrement élevés (ce qui signifie qu’une unité du produit animal requiert de fortes quantités d’aliments du bétail). En production laitière, les coefficients d’efficacité sont deux fois supérieurs à ceux des autres régions du monde pour l’Afrique de l’Est, centrale et du Sud et quatre fois supérieurs pour l’Afrique de l’Ouest, au point qu’ils ne peuvent apparaître sur la figure. En viande bovine, ils sont près de deux fois supérieurs dans les deux régions subsahariennes. On retrouve là les conséquences des fonctions variées attribuées au cheptel en Afrique subsaharienne, où la production de biens alimentaires n’est pas la seule vocation des animaux : leur rôle en matière de traction reste toujours crucial, s’y ajoute souvent une fonction de capitalisation de richesse de l’éleveur, notamment en contexte de pastoralisme fort. Leur alimentation, ici considérée sous le seul angle de la production de bien alimentaire pour les populations humaines, sert aussi et parfois surtout à fournir l’énergie nécessaire à ces autres fonctions.

Les évolutions envisagées entre « 2010 » et 2050 n’estompent en rien la très faible efficacité des productions de lait et de viande bovine en Afrique subsaharienne : la quantité de produits végétaux nécessaire à la production d’une unité de viande bovine ou de lait est, en 2050, très élevée et très supérieure à ce qu’il est nécessaire de mobiliser dans les autres régions du monde.

2.2.6. Une disponibilité en terres cultivables en Afrique subsaharienne apparemment peu limitante en termes d’extension des surfaces cultivées

Pour fonctionner, le modèle GlobAgri-AE2050 a besoin que soit définie pour chaque région du monde une contrainte d’extension des surfaces agricoles, contrainte que l’on a choisie ici de limiter aux seules surfaces cultivées. Ainsi, les contraintes de terres cultivables s’appliquent aux cultures (y compris les fourrages cultivés, incluant donc les prairies temporaires) mais excluent les surfaces toujours en herbe mobilisées par les animaux d’élevage qui, elles, pourront s’étendre sans limite dans les simulations à 2050. On analyse *a posteriori* la possibilité concrète des extensions envisagées.

L’identification des surfaces cultivables au niveau mondial fait, on le sait, objet de nombreux et intenses débats (Roudard, 2010 ; Lambin et Meyfroidt, 2011 ; et, Le Mouël et Forslund, 2018 pour une revue sur cette question), d’aucun considérant qu’il y a toujours moins de disponibilités qu’envisagées dès lors que sont « pris en compte toutes les contraintes et les arbitrages à faire entre diverses fonctions » (Lambin *et al.*, 2013). Comme la plupart des travaux relatifs à la sécurité alimentaire mondiale, nous nous sommes ici appuyés sur les données GAEZ (*Global Agro-Ecological Zones*) développé par l’IIASA et la FAO, pour estimer les surfaces cultivables dans chaque région du monde en « 2010 » et 2050¹⁸. La méthodologie GAEZ utilise des données climatiques combinées à des jeux de données géospatialisées de sol, de topographie et de caractéristiques agronomiques et biophysiques en vue de classer les terres selon un gradient de cultivabilité pour les productions végétales, gradient

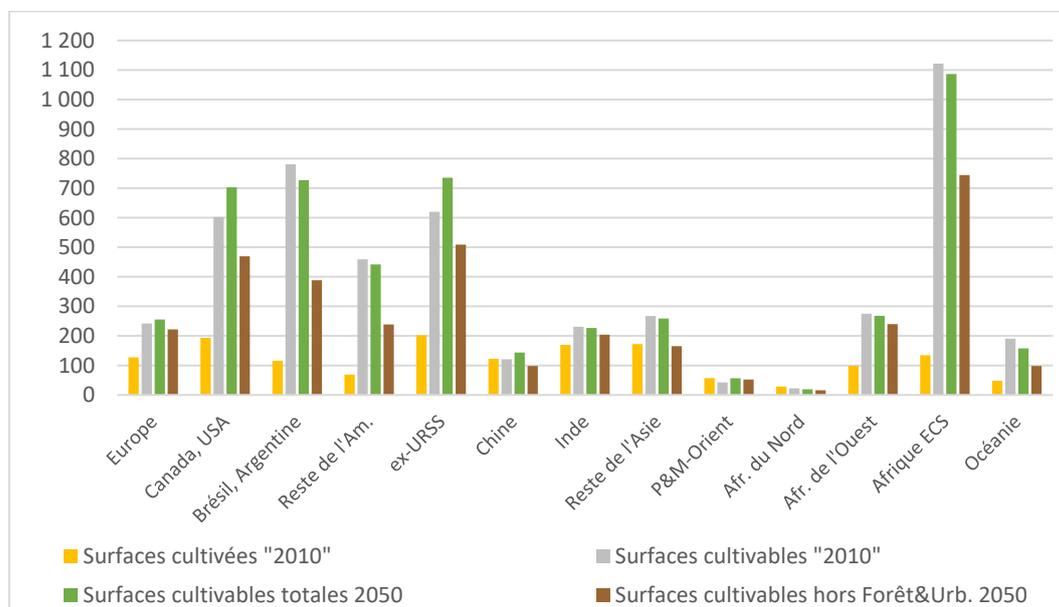
¹⁷ Aliments occasionnels utilisés en alimentation animale, tels que des déchets alimentaires ou l’alimentation de parcours.

¹⁸ On a ici mobilisé leur version publique telle qu’accessible au moment de l’étude Tibi *et al.* (2020) : GAEZ-v3, disponible à www.fao.org/nr/gaez/en et documentée dans Fischer (2012).

susceptible de se modifier selon les conditions futures (FAO, 2018). Sans prise en compte des usages actuels ou futurs des terres, chaque unité de terres, à une résolution spatiale de 5 arc-minutes, est positionnée dans une des classes d’indice de cultivabilité (*Suitability Index*, SI) de type « *prime* », « *good* », « *marginal* » ou « *unsuitable* ». En suivant la plupart de la littérature (Le Mouël et Forslund, 2017), on a considéré comme « cultivables » toutes les terres ayant un SI > 40 (les terres ayant un SI < 40 sont classées comme « *marginal* »). Dans la base GAEZ-v3, les projections des SI à l’horizon 2050 sont réalisées à partir des scénarios SRES du GIEC, sachant que les scénarios SRES “B2” correspondent au RCP-6.0.

Au sens de GAEZ-v3, les terres cultivables sont, au niveau mondial, estimées à 4,98 milliards d’hectares en « 2010 ». Comparée au total de 1,54 milliard d’hectares de surfaces cultivées dans le monde, cette estimation fait apparaître un large potentiel de terres disponibles pour l’expansion des surfaces cultivées avec, cependant, une forte hétérogénéité géographique (Figure 2.8). La prise en compte des effets du changement climatique à l’horizon 2050 (via le scénario « SRES B2 » du 4^{ème} rapport du GIEC, IPCC, 2007) induit un gain global de +2 % de terres cultivables à l’horizon 2050 par rapport à « 2010 », les pertes dans certaines régions du monde (Amérique latine et Afrique, notamment) étant compensées par des gains dans d’autres (principalement en Ex-URSS et au Canada-Etats-Unis). Ceci conduit à un total de 5 milliards d’hectares de terres cultivables dans le monde à l’horizon 2050. En comparaison des surfaces cultivées aujourd’hui (« 2010 ») et quelles que soient les évolutions liées au changement climatique, les disponibilités en terres cultivables apparaissent élevées en Afrique subsaharienne (tout comme dans les différentes régions du continent américain et dans le regroupement correspondant à l’Ex-URSS) ; elles sont en revanche nulles en Afrique du Nord et au Moyen-Orient (où les surfaces cultivées d’aujourd’hui dépassent les actuelles terres considérées par GAEZ-v3 comme « cultivables »), et très restreintes dans les différentes régions d’Asie.

Figure 2.8 – Surfaces cultivées en « 2010 », et surfaces cultivables en 2050 avec et hors Forêts & Urbanisation (millions ha)

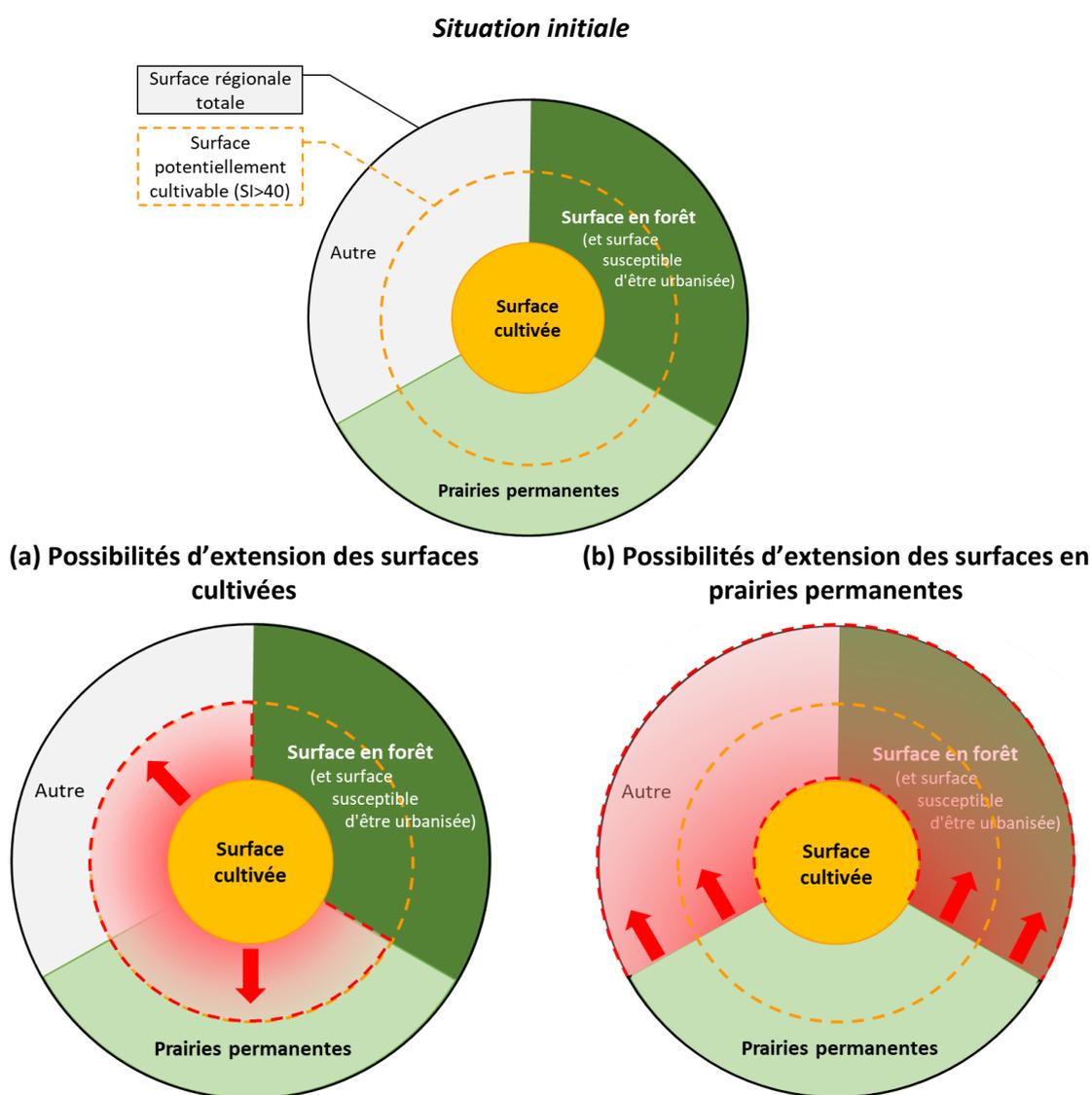


Sources : FAOStat, GAEZ-v3, Fischer (2012), Fisher et al. (2012)

Souhaitant éviter que les possibles extensions de surfaces cultivées nécessaires pour répondre aux besoins alimentaires à l’horizon 2050 ne se fassent au détriment des zones forestières, on a exclu de la contrainte en terres cultivables les surfaces actuellement en forêts (ainsi que les surfaces susceptibles d’être urbanisées à l’horizon 2050), telles que schématisées dans la Figure 2.9.a. On retire

alors de l’ensemble précédent 1,6 milliard d’hectares qui, bien que réputés possiblement cultivables seront, dans nos simulations, conservés à des fins autres que l’extension des surfaces cultivées. Si toutes les régions du monde sont bien sûr concernées par cette limitation à 3,4 milliards d’hectares de terres cultivables en 2050, la contrainte n’apparaît vraiment prégnante qu’en Afrique du Nord, Moyen-Orient, Chine, Inde et Reste de l’Asie, des régions où les surfaces cultivables disponibles en 2050 seront inférieures (ou très proches) des surfaces cultivées en « 2010 ». A l’inverse, en Afrique subsaharienne, les terres cultivables disponibles en 2050 au-delà des surfaces déjà cultivées sont encore considérables : 610 millions ha pour l’ensemble constitutif de l’Afrique de l’Est, centrale et du Sud (soit 4,5 fois la surface cultivée actuelle) et 141 millions ha en Afrique de l’Ouest (soit 1,4 fois la surface cultivée actuelle). De leur côté, les différentes régions du continent américain disposeraient de 720 millions ha de surfaces cultivables supplémentaires, l’ensemble de la zone correspondant à l’Ex-URSS de 307 millions ha et l’Europe d’un peu moins de 100 millions ha.

Figure 2.9 – Représentation schématique des possibilités d’extension des surfaces cultivées (a) et des surfaces en prairies permanentes (b) telles que permises par le modèle GlobAgri-AE2050



N.B. : Les proportions attribuées à chacun des grands types de surfaces représentés ici ont été fixées de façon arbitraire et illustrative. Derrière le vocable « Autre », sont regroupées toutes les surfaces non agricoles et non forestières : s’y mêlent donc tout autant des savanes, des landes non exploitées, des espaces naturels plus ou moins accessibles, des espaces protégés, des espaces artificialisés, etc.

En ce qui concerne l’Afrique subsaharienne, on aboutit ici à une surface de 751 millions ha en terres cultivables non boisées et non susceptibles d’être urbanisées, un chiffre assez proche des 790 millions ha que Jacquemot (2018) considère comme étant actuellement « disponibles potentiels ». Ces surfaces cultivables, dont seulement 30 % (soit 232 millions ha) sont actuellement cultivées, excluent bien les 664 millions ha de forêts de l’Afrique subsaharienne (89 millions ha en Afrique de l’Ouest et 575 millions ha en Afrique de l’Est, centrale et du Sud). Notons que Jacquemot (2018) considère que, parmi ces surfaces « disponibles potentielles », seuls 105 millions ha sont « disponibles inexploités », la grande majorité de la différence avec le « disponible potentiel » étant constituée de « prairies et pâturages permanents ».

Dans ces conditions, c’est-à-dire sous la contrainte de terres cultivables définies selon « GAEZ-v3 en 2050 hors Forêts & Urbanisation », l’extension des surfaces cultivées, là où elle pourrait s’avérer nécessaire, s’effectuerait principalement sur des surfaces « cultivables » actuellement en herbe, que celles-ci soient aujourd’hui mobilisées par des animaux d’élevage ou conservées « naturelles » mais non « enforestées » et non protégées (Figure 2.9.a). Quelques espaces naturels non forestiers, non herbacés et non protégés pourraient également être concernés par de telles mises en cultures, mais ceux-ci seraient probablement très rares, la contrainte de cultivabilité ($SI > 40$) excluant *a priori* la plupart des zones fortement humides ou de trop haute altitude.

Néanmoins, si cette contrainte est en mesure d’intégrer des options empêchant l’extension des surfaces cultivées sur les surfaces forestières, rien ne certifie que les surfaces cultivables réputées « disponibles » dans notre contrainte sont réellement accessibles, aujourd’hui ou à l’horizon visé (Jacquemot, 2018, 2021). Pour pallier cette difficulté, on introduira, dans un second temps, une contrainte alternative plus stricte empêchant toute extension future des surfaces cultivées au-delà de leur superficie actuelle. Cette contrainte, très forte, visera à éviter tout bouleversement des modes d’occupation des sols et les conséquences environnementales qu’ils induisent.

Cependant, comme on l’a vu plus haut, les surfaces en pâtures n’entrant pas en compte dans cette contrainte, leur extension pourra s’effectuer sans limite. La projection à 2050 des surfaces en herbe utilisées par les animaux d’élevage est alors susceptible d’empiéter, parfois largement, sur les surfaces forestières (Figure 2.9.b). Cet enjeu, crucial en matière de déforestation potentielle, fera l’objet d’un examen particulièrement attentif dans la suite de ce travail.

* *
*

En résumé, c’est donc le jeu complet d’hypothèses résumé ci-dessus qui définira, dans les simulations qui suivent, à la fois les objectifs à atteindre en termes de besoins à couvrir et les conditions techniques à mettre en œuvre pour couvrir ces besoins. Du point de vue africain, les objectifs sont donc bien de fournir à une population africaine qui va plus que doubler à l’horizon 2050, les biens agricoles nécessaires pour couvrir des besoins nutritionnels définis, soit en prolongement des tendances passées (« Régimes tendanciels »), soit en rupture vers une transition nutritionnelle plus saine quantitativement et qualitativement (« Régimes sains »). Quelle que soit l’option de demande alimentaire retenue, le nombre de calories qu’il faudra fournir à chaque habitant de l’Afrique subsaharienne devrait augmenter de façon conséquente, l’Afrique du Nord se distinguant ici par une stagnation ou une baisse de ces apports caloriques. De même et contrairement aux trajectoires que devraient suivre la plupart des régions du monde, l’Afrique subsaharienne verrait les apports quotidiens en produits animaux nécessairement augmenter, notamment sous hypothèse de « Régimes sains ».

En regard, on envisage une amélioration des conditions de production avec une croissance des rendements végétaux plus marquée en Afrique que dans les autres régions du monde, que la projection s’oriente vers une vision optimiste (« Rendements hauts ») ou plus modérée (« Rendements bas »). Le moteur de cette croissance plus forte des rendements africains s’appuie exclusivement sur des changements techniques (dont nous ne cherchons pas ici à définir la nature) tels qu’ils devront compenser les baisses de rendements liées au changement climatique plus sensibles ici qu’ailleurs. En dépit de ces hypothèses favorables à l’agriculture africaine et du fait de leur faiblesse actuelle, les niveaux de rendements projetés à l’horizon 2050 resteront bas comparativement au reste des régions du monde. Un écart de même nature est envisagé en ce qui concerne les performances du cheptel africain notamment en matière bovine, pour lequel les efficacités animales bovines (lait et viande) sont particulièrement décalées par rapport à celles des autres régions du monde, du fait des rôles spécifiques joués par l’élevage et le cheptel dans cette partie du monde.

Pour faire face à cette potentielle explosion de sa demande en produits agricoles à l’aide d’un système agricole encore fragile bien qu’en forte progression, l’Afrique subsaharienne dispose, si nécessaire, d’un potentiel important d’extension de ses terres cultivées sur des terres cultivables non couvertes par des forêts (ou urbanisables à terme). Ce n’est pas le cas de l’Afrique du Nord dont les surfaces cultivables sont déjà saturées et qui, à l’horizon 2050, sera encore plus contrainte en termes d’extension possible des surfaces cultivées. Comme déjà montré par ailleurs, cette région a de fortes chances de devoir accroître sa dépendance aux importations agricoles, déjà élevée aujourd’hui (Le Mouël *et al.*, 2017).

3. FACE AUX ÉVOLUTIONS POTENTIELLES DES DEMANDES ALIMENTAIRES, UNE SITUATION AFRICAINE ENTRE EXTENSION DES TERRES CULTIVÉES ET DÉPENDANCE ACCRUE AUX IMPORTATIONS

Les projections à 2050 de la situation agricole et alimentaire mondiale sont donc réalisées à l’aide du modèle GlobAgri-AE2050 sur la base de l’ensemble des hypothèses décrites précédemment relatives aux évolutions de la demande (notamment alimentaire) et des conditions techniques de production. Les simulations qui en résultent¹⁹, mettent en lumière les conséquences possibles de ces hypothèses à 2050 sur les surfaces utilisées par l’agriculture à travers le monde, les volumes de production agricole et les échanges mondiaux.

Pour tenir compte des incertitudes qui pèsent sur nombre de variables des systèmes alimentaires mondiaux, on a, dans ce qui précède, proposé des jeux de données alternatifs pour deux variables clés : les régimes alimentaires et les rendements végétaux. Pour les premiers, on envisage de contraster les résultats en fonction de la nature des régimes alimentaires adoptés, en opposant des « **Régimes tendanciels** » à des « **Régimes sains** », ces derniers marquant une rupture dans nombre de régions du monde. Côté rendements, on a, en mobilisant les séries successives proposées par la FAO et une analyse quantitative des effets du changement climatique sur la croissance végétale, retenu deux hypothèses de projection des rendements des cultures à l’horizon 2050 : (i) une hypothèse de « **Rendements hauts** » qui combine un rythme assez soutenu d’évolutions techniques (FAO, 2012) et la pleine valorisation de l’effet [CO₂] par les plantes ; (ii) une hypothèse de « **Rendements bas** » qui résultent d’évolutions techniques plus modérées (FAO, 2018) et d’une absence de valorisation de l’effet [CO₂] par les plantes.

L’assemblage de ces deux jeux d’hypothèses aboutit à la construction des quatre scénarios suivants :

- « **Régimes tendanciels & Rendements bas** » (Rég. TEND. - Rdts BAS) ;
- « **Régimes tendanciels & Rendements hauts** » (Rég. TEND. - Rdts HAUTS) ;
- « **Régimes sains & Rendements bas** » (Rég. SAINS - Rdts BAS) ;
- « **Régimes sains & Rendements hauts** » (Rég. SAINS - Rdt HAUTS).

L’analyse des résultats de simulation nécessite d’appréhender au mieux la façon dont fonctionne le modèle GlobAgri-AE2050. Pour chaque région du monde, celui-ci détermine les surfaces agricoles (surfaces cultivées et prairies permanentes) nécessaires et suffisantes en 2050 pour répondre aux demandes domestiques en produits agricoles, tout (i) en maintenant, si possible, les parts de marchés à l’export et les taux d’importation, (ii) en respectant les conditions techniques fixées de façon exogène en matière de productivités végétales et animales (rendements végétaux, intensités culturales, efficacités animales), et (iii) dans les limites de la disponibilité en surfaces cultivables, également fixée de façon exogène pour chacune des régions du monde. Dans le cas où une région viendrait à « buter » sur sa contrainte de terres cultivables (besoins en surfaces cultivées excédant la disponibilité en terres cultivables), elle ne serait pas en capacité de satisfaire à la fois sa demande domestique et ses niveaux d’échanges internationaux. Le modèle ajuste alors les estimations en réduisant tout d’abord les exportations de cette région (diminution de ses parts de marché à l’export), puis en augmentant ses importations (augmentation de ses taux d’importation). Les conséquences de la modification de la

¹⁹ Ces résultats présentent quelques différences avec ceux obtenus pour l’étude Tibi *et al.* (2020) du fait de l’hypothèse faite sur les évolutions des intensités culturales. Ces dernières sont ici maintenues constantes entre « 2010 » et 2050 alors qu’elles évoluent selon les mêmes *trends* que ceux retenus par FAO (2018) dans l’étude séminale. Cette différence n’engendre pas d’écarts significatifs dans les résultats, notamment en ce qui concerne les trois régions du continent africain distinguées ici, l’évolution des intensités culturales de Tibi *et al.* (2020) y étant très limitée.

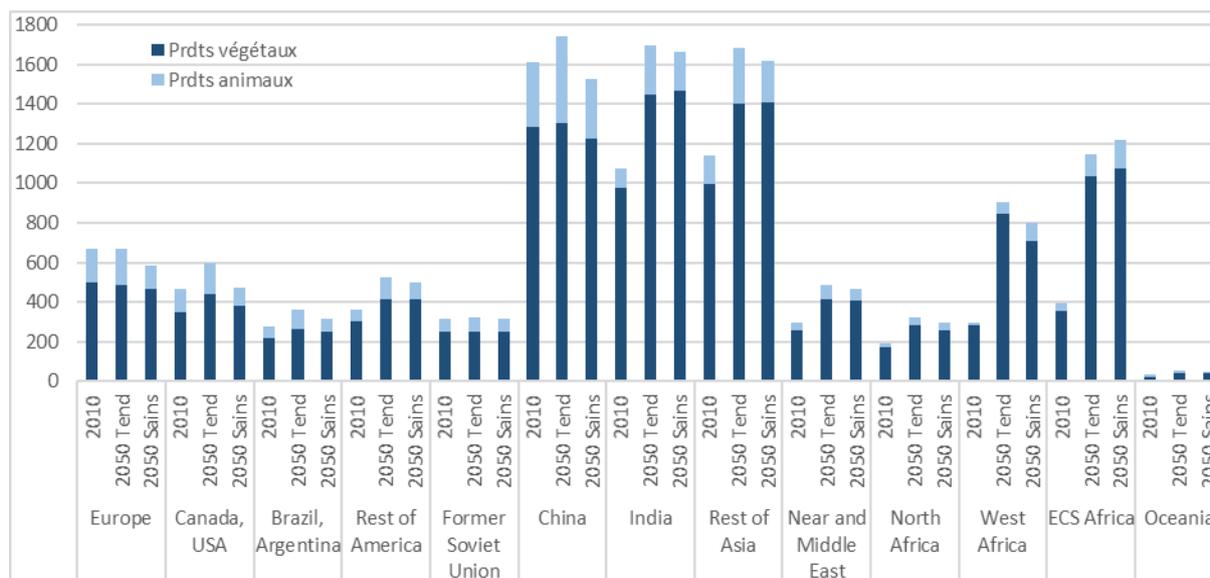
place de la région sur les marchés mondiaux induite par ces ajustements sont alors prises en charge par les régions du monde disposant de suffisamment de surfaces cultivables pour ce faire.

Dans cette section, on examinera tout d’abord l’importance du rôle des évolutions des composantes de la demande et la façon dont les conditions techniques de production peuvent réduire les besoins en surfaces cultivées qui résulteraient des seules évolutions de la demande. Cette approche, dite pas-à-pas et conduite sans contraindre l’extension des terres cultivées, sera bien sûr finalisée en imposant un seuil maximal d’extension des surfaces cultivées. On utilisera alors les contraintes de terres cultivables définies précédemment (GAEZ-v3 en 2050, hors Forêts et Urbanisation) et on en examinera les conséquences en matière d’évolution des surfaces cultivées, des productions domestiques et des échanges. Puis, on empêchera toute extension des surfaces cultivées au-delà des surfaces qu’elles couvrent déjà en début de période (« 2010 ») pour examiner comment cette contrainte plus stricte et plus conservatrice d’un point de vue environnemental modifierait les arbitrages de chaque région entre production domestique et recours aux échanges.

3.1. Vers une explosion des demandes alimentaires du continent africain : effets sur les besoins en surfaces cultivées

Les évolutions de régimes alimentaires, combinées aux dynamiques démographiques régionales, induisent une croissance de la demande alimentaire mondiale contrastée selon les hypothèses de régime, et surtout hétérogène entre régions du monde. Face à une croissance de la demande mondiale (exprimée ici en kcal) de +47 % en « Régimes tendanciels » et de +38 % en « Régimes sains », les différentes régions du continent africain devraient faire face à une augmentation bien plus soutenue de leur demande en kilocalories alimentaires. Portée par une dynamique démographique très supérieure aux autres régions et des importants besoins nutritionnels à combler, les demandes alimentaires seraient amenées, en « régimes tendanciels », à tripler ou presque tripler entre « 2010 » et 2050 en Afrique subsaharienne, et à augmenter de +66 % en Afrique du Nord (Figure 3.1).

Figure 3.1 – Projections à 2050 des demandes alimentaires de chaque région du monde selon les deux hypothèses d’évolution 2010-2050 des régimes alimentaires, « tendanciels » et « sains » (en Tkcal)



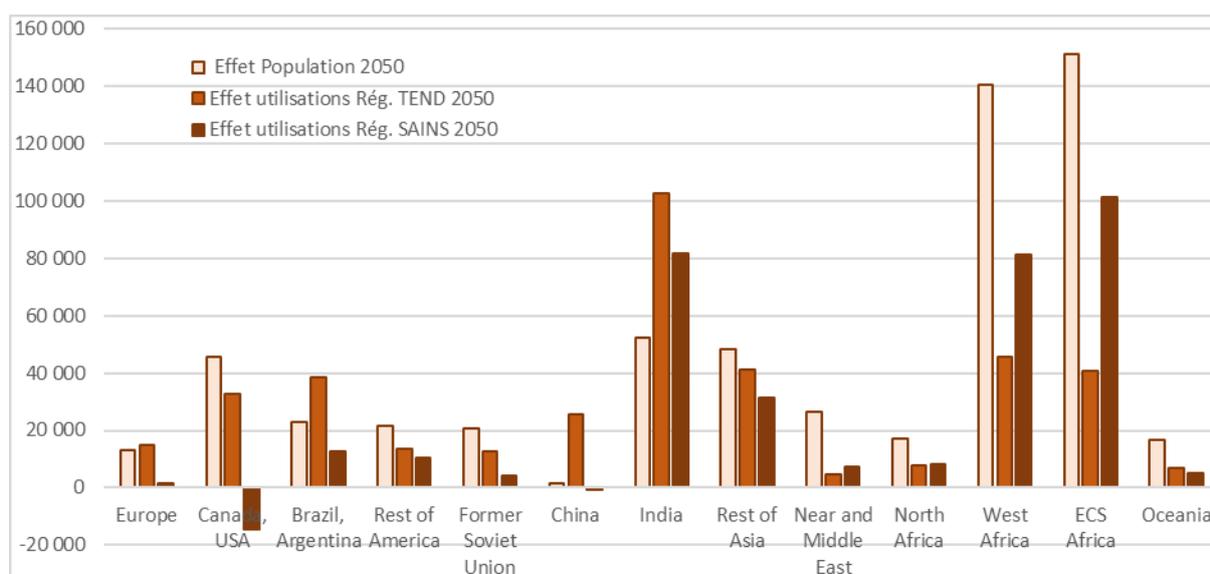
Source : Tibi et al. (2020)

La transition vers des « régimes sains » atténuerait quelque peu l’explosion de la demande alimentaire en Afrique de l’Ouest ainsi qu’en Afrique du Nord : la demande se « limiterait » à une multiplication par 2,7 en Afrique de l’Ouest et à une croissance de +50 % en Afrique du Nord. A l’inverse, en Afrique de l’Est, centrale et du Sud, l’adoption de « régimes sains » se traduirait, en dépit d’une hétérogénéité interne marquée, par une augmentation de la demande encore plus forte que sous hypothèse de « régimes tendanciels ». Le passage à une alimentation saine nécessiterait ici un effort particulier allant à l’opposé de ce qui se passerait dans les autres régions du monde.

Par ailleurs et comme on l’a déjà relevé, les deux trajectoires d’évolution nutritionnelle envisagées ici se traduiraient en Afrique, et notamment en Afrique subsaharienne, par une augmentation conséquente de la demande en produits animaux, plus accentuée dans l’hypothèse de « Régimes sains » qu’en « Régimes tendanciels ». Cette croissance amplifierait donc encore la pression vis-à-vis des besoins en produits végétaux, quelle que soit l’hypothèse de régime alimentaire retenue.

Traduite en termes de besoins en surfaces cultivées, une telle évolution de demande nécessiterait à elle seule (c’est-à-dire sans évolution des conditions techniques de production par rapport à « 2010 »), une extension considérable des surfaces cultivées pour pouvoir la couvrir (Figure 3.2). Ainsi, sur les +965 millions ha supplémentaires (par rapport à « 2010 ») qui, au niveau mondial, devraient être mobilisés pour accompagner les évolutions démographiques et l’évolution tendancielle des régimes alimentaires, +403 millions ha concerneraient le continent africain et +272 millions ha l’Asie. Si l’adoption de « régimes sains » atténuerait quelque peu la pression au niveau mondial (les besoins se « limitant » alors à +909 millions ha), cette deuxième trajectoire nutritionnelle se traduirait, au contraire, par un alourdissement des besoins en surfaces cultivées en Afrique, notamment subsaharienne : aux conditions techniques de « 2010 », le continent africain devrait mobiliser au total +500 millions ha supplémentaires pour couvrir ses besoins alimentaires, soit un quasi doublement des surfaces cultivées actuelles.

Figure 3.2 – Effets des évolutions de la demande sur les besoins additionnels en surfaces cultivées par région du monde selon les hypothèses d’évolution 2010-2050 des régimes alimentaires
(variation « 2010 »-2050 en 1000 ha)



Source : simulations réalisées pour cette étude à partir du modèle GlobAgri-AE2050

Comme on pouvait s’y attendre, la dynamique démographique des régions africaines constitue le moteur premier de la croissance de la demande et donc du besoin en surfaces cultivées pour y faire

face. Ainsi, quelle que soit l’hypothèse nutritionnelle retenue, la seule évolution démographique est responsable de plus des deux tiers de l’augmentation des besoins en surfaces cultivées (à paramètres d’offre inchangés) dans chacune des trois régions africaines. Les évolutions relatives aux régimes alimentaires amplifient cette pression, et ce d’autant plus fortement que le régime alimentaire adopté penche du côté des régimes alimentaires « sains ». Sur les +186 millions ha additionnels dont l’Afrique de l’Ouest aurait besoin pour couvrir les besoins nutritionnels d’une évolution tendancielle de ses régimes alimentaires, +141 millions ha résulteraient de la seule évolution démographique tandis que +45 millions ha supplémentaires suffiraient pour couvrir les besoins liés aux seules évolutions du régime alimentaire. Le besoin en surfaces cultivées dû à la seule évolution du régime alimentaire passerait à +81 millions ha en Afrique de l’Ouest en cas d’adoption de « régimes sains ». De même, en Afrique de l’Est, centrale et du Sud, aux +151 millions ha de surfaces cultivées supplémentaires nécessaires pour faire face aux effets des seules évolutions démographiques (à régime alimentaire et conditions techniques de production inchangés par rapport à « 2010 »), il faudrait ajouter +40 millions ha pour faire face aux effets des évolutions tendancielle des régimes alimentaires et +101 millions ha en cas d’adoption de régimes alimentaires sains.

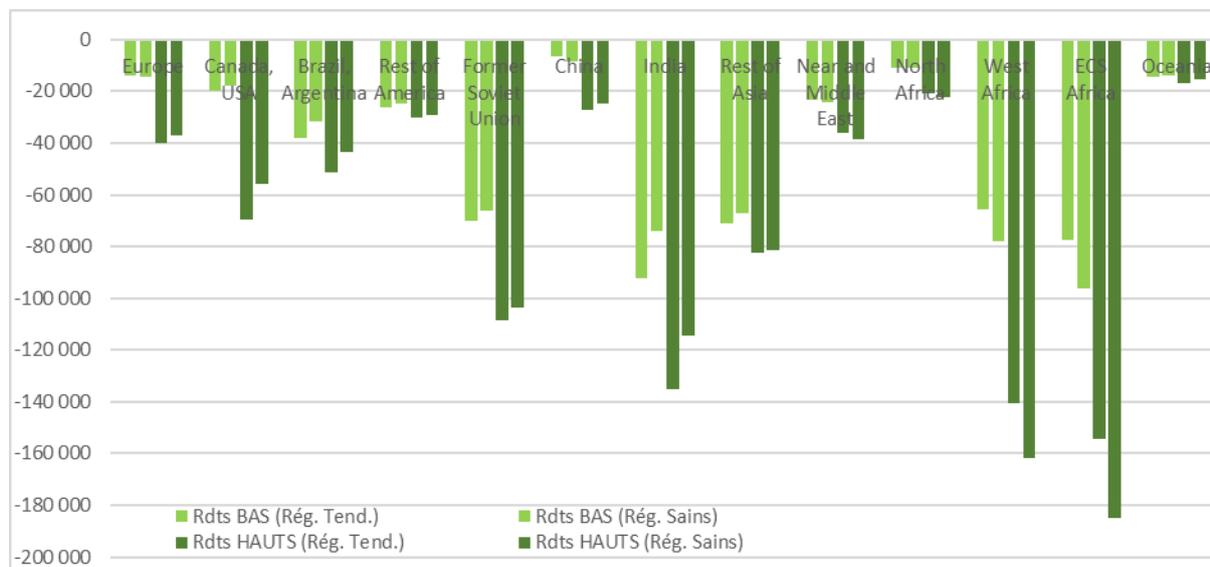
3.2. Les évolutions moyennes des performances techniques des cultures ne compenseraient que très partiellement les besoins en surfaces cultivées liés aux évolutions de la demande alimentaire africaine

Bien sûr, une partie des besoins en surfaces cultivées qui seraient nécessaires pour faire face aux évolutions des demandes domestiques pourrait être couverte par les évolutions des conditions techniques de production et, notamment, les évolutions des rendements végétaux, auxquelles viendraient s’ajouter celles des performances des animaux (dont les effets resteraient faibles, voire négligeables, eu égard aux hypothèses assez conservatrices que nous avons formulées à leur sujet – *cf. supra*).²⁰ Ainsi, si les rendements des productions végétales tendaient vers notre hypothèse la plus optimiste (« Rendts Hauts »), l’économie en surfaces cultivées obtenue grâce à l’amélioration conséquente des conditions de l’offre agricole serait, pour l’ensemble du continent africain, comprise entre -316 et -369 millions ha, la transition vers des « régimes sains » permettant de réduire plus nettement que les « régimes tendanciels » la pression sur les terres cultivées africaines (Figure 3.3).

Le gain serait nettement réduit si les rendements végétaux poursuivaient les tendances de ces dernières décennies (« Rendts Bas ») : la réduction induite par les évolutions des performances techniques de la production agricole serait limitée, pour l’ensemble du continent africain, à -154 millions ha sous hypothèse de « régimes tendanciels » et à -185 millions ha sous hypothèse de « régimes sains ». Compte tenu de nos projections de rendements, favorisés par l’amélioration des conditions de production en Afrique subsaharienne, ces effets de réduction des besoins en surfaces cultivées y sont bien plus marqués que dans la plupart des autres régions du monde (qui bénéficient déjà en « 2010 » de rendements végétaux nettement plus élevés).

²⁰ Rappelons également que nous avons ici maintenu à leur niveau de « 2010 » les intensités culturales de toutes les régions du monde, ce qui explique des gains en surfaces cultivées nécessaires moins marqués que dans l’étude Tibi *et al.* (2010).

Figure 3.3 – Effets des évolutions des conditions techniques de l’offre sur les besoins additionnels en surfaces cultivées par région du monde selon les hypothèses d’évolution 2010-2050 des rendements végétaux et des régimes alimentaires (variation « 2010 »-2050 en 1000 ha)

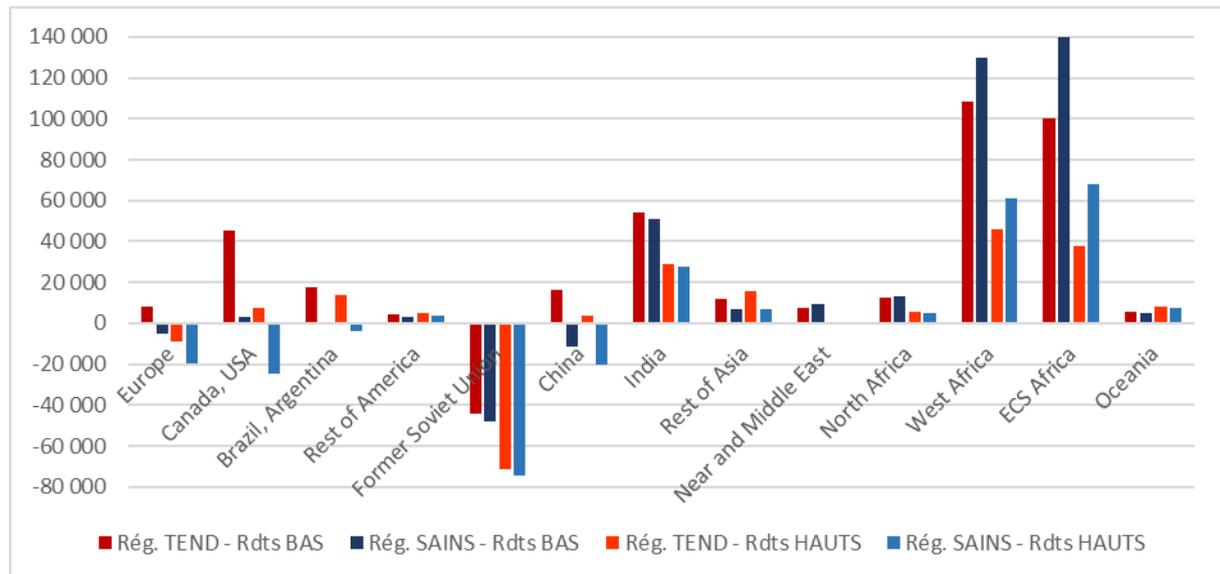


Source : simulations réalisées pour cette étude à partir du modèle GlobAgri-AE2050

Néanmoins, bien que conséquents, ces effets d’offre sont largement insuffisants pour faire face, sans extension des surfaces dédiées aux cultures, aux besoins induits par les évolutions de la demande en Afrique, tels que repérés précédemment : rappelons que +403 millions ha seraient nécessaires pour couvrir les besoins africains liés à la seule évolution tendancielle des régimes alimentaires, et +500 millions ha en cas de transition vers des « régimes sains ». L’écart entre ces besoins en très forte croissance et les gains de surfaces permis par l’amélioration des conditions de l’offre est particulièrement conséquent en Afrique subsaharienne (Figure 3.4). La combinaison des besoins en surfaces cultivées liés à l’évolution de la demande et des gains potentiels liés aux changements des conditions de production se traduit par un besoin net en surfaces cultivées s’étageant pour l’ensemble de l’Afrique entre +221 millions ha (si régimes « tendanciels ») et +283 millions ha (si régimes « sains ») avec des évolutions de rendements poursuivant leurs tendances passées (« Rendts Bas »), et entre +90 et +134 millions ha si les performances techniques des agricultures africaines s’amélioraient dans le sens de notre hypothèse haute de rendements végétaux (« Rendts hauts »).

En plus de l’Afrique, seule l’Inde est également concernée de façon conséquente par un besoin en surfaces cultivées lié à l’évolution de sa demande que les évolutions des conditions de production ne permettent pas de compenser. Dans les autres régions d’Asie, le besoin en surfaces cultivées peut rester encore positif mais son ampleur est nettement moindre. A l’inverse, dans les régions européennes et américaines, les faibles augmentations de besoins en surfaces cultivées liées aux évolutions de la demande sont, dans la plupart des cas, compensées par les évolutions de rendements végétaux, même si celles-ci y sont largement moins prononcées qu’ailleurs. On peut aussi repérer le cas particulier constitué par la région regroupant les pays de l’Ex-URSS, qui se retrouverait en capacité de diminuer de façon très significative ses surfaces cultivées, compte tenu de l’évolution très faible de sa demande intérieure (expliquée par une démographie faible accentuée par une diminution de la demande calorifique individuelle y compris sous l’hypothèse de « régimes tendanciels »).

Figure 3.4 – Effets combinés des évolutions de la demande et de l’offre sur les besoins additionnels en surfaces cultivées par région du monde selon les hypothèses d’évolution 2010-2050 des rendements végétaux et des régimes alimentaires (variation « 2010 »-2050 en 1000 ha)



Source : simulations réalisées pour cette étude à partir du modèle GlobAgri-AE2050

Ainsi, pris au niveau mondial et sous la pression des besoins notamment africains et indiens, le besoin en surfaces cultivées mondiales augmenterait de +296 à +347 millions ha en cas de « rendements bas » et de +37 à +92 millions ha en cas de « rendements hauts ». Cette première évaluation des besoins en surfaces cultivées est effectuée sans contrainte de terres, c’est-à-dire sans tenir compte des effets que pourraient avoir les disponibilités en terres cultivables auxquelles chaque région du monde devrait faire face.

3.3. Forte extension des surfaces cultivées, des volumes de production et d’échanges sous contrainte de surfaces cultivables n’empiétant pas sur les surfaces forestières

On a, dans un premier temps, imposé comme contrainte d’extension des surfaces cultivées les hectares de terres cultivables de chaque région du monde selon les estimations GAEZ-v3 en situation de changement climatique RCP-6.0 à 2050, en excluant, d’une part, les surfaces actuellement dédiées aux forêts et, d’autre part, les terres susceptibles d’être urbanisées entre « 2010 » et 2050 (cf. plus haut, point 2.2.6). Il s’agit ici d’éviter l’extension des surfaces cultivées au détriment des forêts (Figure 2.9.a).

Sous cette contrainte, les besoins en surfaces cultivées de plusieurs régions du monde excèderaient alors, plus ou moins largement, leurs capacités « physiques » d’extension. Il s’agit tout d’abord de l’Afrique du Nord pour laquelle la contrainte est très forte, et également du Moyen-Orient, de la Chine, du Reste de l’Asie ainsi que de l’Inde sous hypothèse de « Rendements bas ». Ces différentes régions ne pourraient donc pas étendre leurs surfaces cultivées de façon à couvrir leurs besoins domestiques sans empiéter sur leurs surfaces actuellement boisées. Du fait du mode de fonctionnement du modèle GlobAgri-AE2050, elles réduiraient leurs exportations (*via* leurs parts de marché à l’export) et, si nécessaire, augmenteraient leurs importations (*via* leurs coefficients d’importation) jusqu’à être en capacité de couvrir leur demande interne en produits agricoles. Les déficits d’approvisionnement créés par ces réductions d’exports et ces augmentations d’imports seraient alors pris en charge à proportion constante par toutes les autres régions du monde disposant de suffisamment de terres cultivables pour ce faire. Les tensions engendrées pour le système

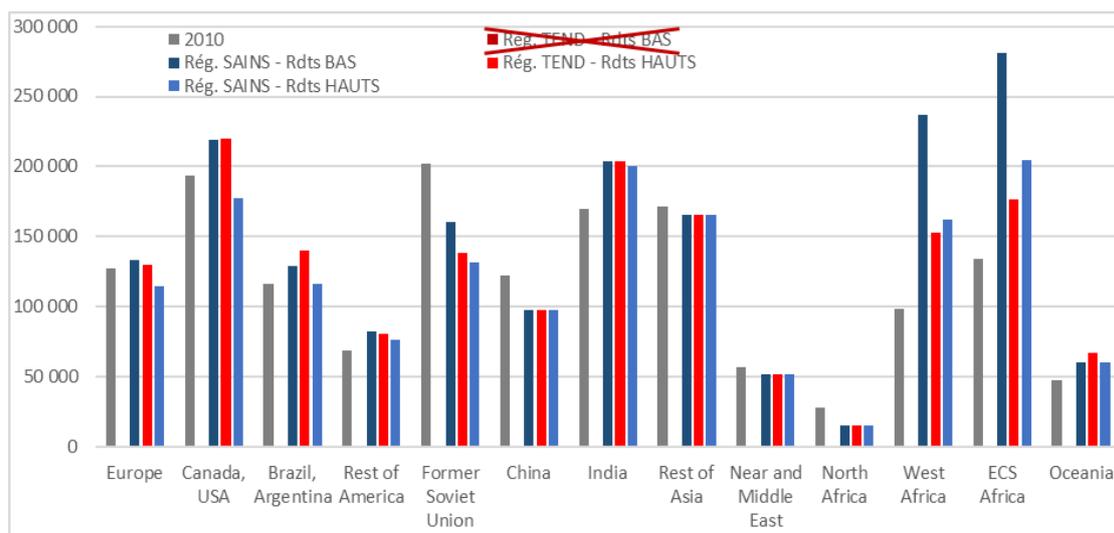
alimentaire mondial seraient telles que, dans certaines situations et du fait de sa rigidité, le modèle ne peut pas trouver de solution permettant de satisfaire toutes les contraintes. C’est notamment le cas lorsque l’option retenue combine des régimes alimentaires « tendanciels » avec des rendements « bas ». Les excès de besoins qui apparaissent alors dans toutes les régions, sauf dans la région correspondant à l’Ex-URSS (cf. Figure 3.4) ne permettent pas de couvrir les besoins mondiaux. C’est pourquoi les résultats qui suivent ne concerneront que les 3 scénarios « Régimes tendanciels & Rendements hauts », « Régimes sains & Rendements bas » et « Régimes sains & Rendements hauts ».

Quel que soit le scénario envisagé, les besoins en surfaces cultivées des deux régions d’Afrique subsaharienne distinguées ici, même s’ils sont très importants, n’atteignent pas le seuil fixé par leurs terres cultivables en 2050 hors forêts et urbanisation, telles qu’elles ont été définies antérieurement (cf. point 2.2.6 et Figure 2.8). L’Afrique de l’Ouest se rapprocherait de ce seuil critique, notamment lorsque les évolutions de rendements projetés restent modérées (« Rendements bas »), sans pour autant le dépasser. De son côté, l’Afrique de l’Est, centrale et du Sud prise dans son ensemble conserverait encore une marge importante pour faire face à l’ensemble de ses besoins.

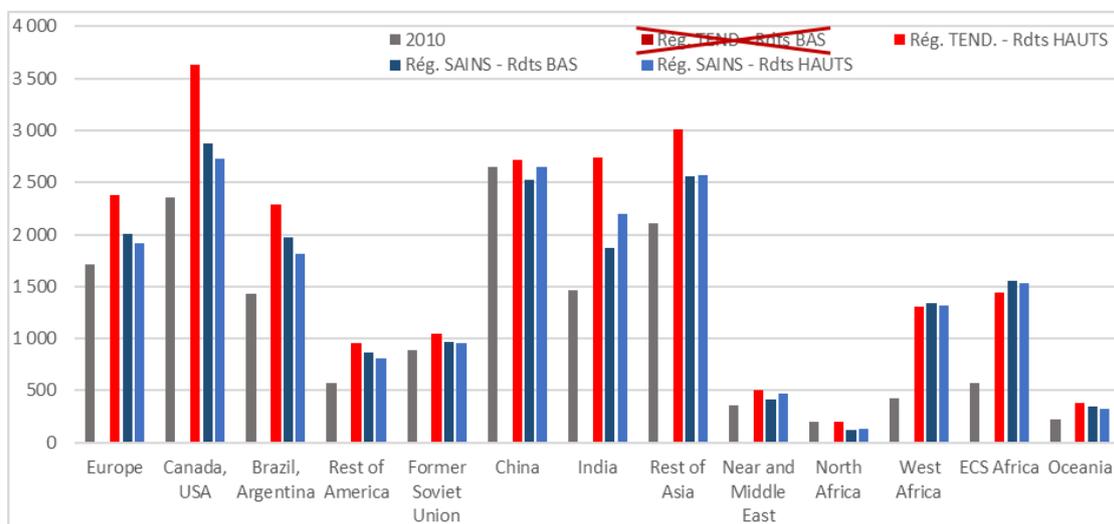
Dans ces conditions, l’extension des surfaces cultivées sur l’ensemble du continent africain serait fort conséquente à l’horizon 2050, bien que n’empiétant pas sur les surfaces actuellement en forêt (du fait de la contrainte de terres imposée). On assisterait à un doublement de la surface cultivée en Afrique (soit +272 millions ha supplémentaires) dans le cas où la croissance des rendements resterait modérée (« Rendements bas & Régimes sains ») (Figure 3.5.a). Une évolution plus favorable des rendements végétaux, dont on rappelle que les conditions de réalisation restent à définir et sont loin d’être assurées, réduirait quelque peu cette tension sur les terres en Afrique : l’extension des surfaces cultivées en Afrique serait alors limitée à +32 % (soit +84 millions ha) sous hypothèse de « Régimes tendanciels » et à +47 % (soit +122 millions ha) sous hypothèse d’une transition nutritionnelle vers des « Régimes sains ».

Notons que cette extension globale pour l’ensemble de l’Afrique résulte de situations régionales contrastées : d’une part, une diminution de près de moitié des surfaces cultivées en Afrique du Nord (-12,5 millions ha) due à la diminution des surfaces cultivables dans cette région où les tensions foncières sont déjà fortes en « 2010 » (les surfaces cultivées s’y étendent aujourd’hui au-delà des seules surfaces estimées de qualité suffisante sur le plan agro-climatique) et, d’autre part, de fortes augmentations des surfaces cultivées dans les deux régions subsahariennes. Sous hypothèse de « Rendements bas & Régimes sains », l’Afrique subsaharienne verrait son besoin en surfaces cultivées augmenter de +285 millions ha (doublement des surfaces en Afrique de l’Est, centrale et du Sud et multiplication par 2,4 en Afrique de l’Ouest). Sous hypothèse de « Rendements hauts », ce besoin augmenterait de +97 millions ha sous « Régimes tendanciels » (+42 %), et de +134 millions ha sous « Régimes sains » (+58 %). Combinées aux évolutions des surfaces cultivées dans les autres régions du monde, ces extensions des surfaces cultivées africaines se traduiraient au niveau mondial par une croissance de +20 % (soit +300 millions ha) de la sole cultivée en cas de « Régimes sains & Rendements bas », de +2 % (soit +38 millions ha) sous hypothèse de « Régimes sains & Rendements hauts » et de +7 % (soit +104 millions ha) avec des « Régimes tendanciels & Rendements hauts ». On voit bien ici le rôle central de l’enjeu des évolutions de rendements et donc des conditions techniques de la production agricole en Afrique pour que ce continent puisse subvenir à ses besoins sans une extension trop forte de ses surfaces cultivées.

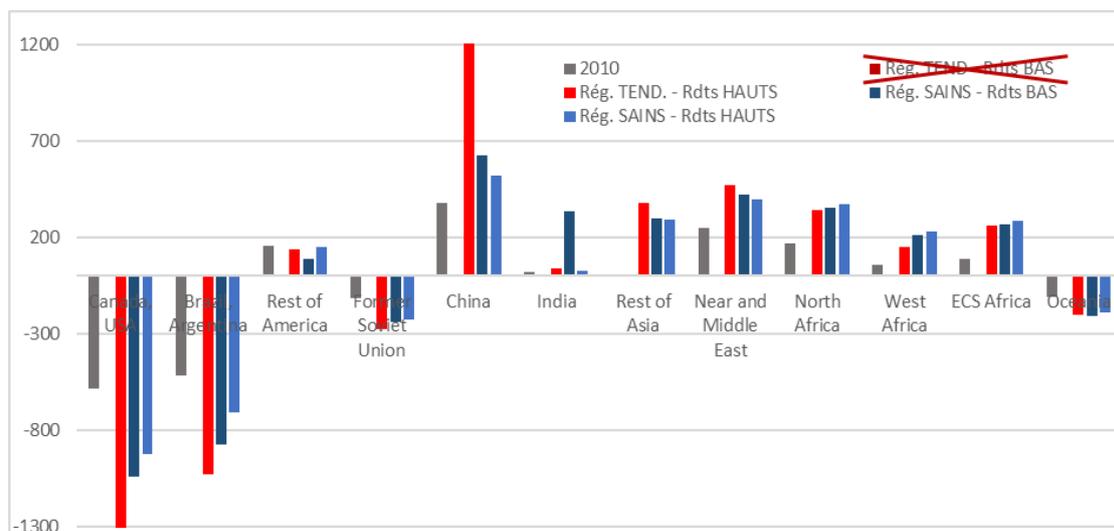
Figure 3.5 – Projections à 2050 des surfaces cultivées (a), des productions domestiques (b) et des importations nettes (c) par région du monde, sous contrainte de terres cultivables 2050 hors Forêts et Urbanisation



(a) Surfaces cultivées (en 1000 ha)



(b) Production domestique (en Tkal)



(c) Importations nettes (en Tkal, hors régions européennes)

Source : simulations réalisées pour cette étude à partir du modèle GlobAgri-AE2050

La possibilité d’extension des surfaces cultivées dont pourrait disposer l’Afrique, notamment dans sa partie subsaharienne, aurait pour corollaire que ce continent serait en mesure de faire face à ses besoins en forte croissance sans modifier ses coefficients d’importations ni ses parts de marché à l’export. La contrepartie en serait une formidable augmentation de la production domestique de ses différentes régions (Figure 3.5.b). La production domestique serait amenée à tripler en Afrique de l’Ouest (multipliée par 3,1) et à être multipliée par 2,5 ou 2,7 selon les scénarios retenus en Afrique de l’Est, centrale et du Sud. Elle se maintiendrait en cas de « Régimes tendanciels & Rendements hauts » en Afrique du Nord, mais y diminuerait en cas de passage à des « Régimes sains » quelle que soit la dynamique d’évolution des rendements. Parallèlement, les importations nettes exprimées en volume s’accroîtraient dans des proportions à peu près identiques pour les deux régions d’Afrique subsaharienne, et de façon plus marquée eu égard à la contraction des surfaces cultivées en Afrique du Nord : ainsi, les volumes de produits agricoles importés doubleraient en Afrique du Nord et seraient, selon les hypothèses de régimes et de rendements retenues, multipliés par 2,5 à 3,8 en Afrique de l’Ouest et par 2,9 à 3,2 en Afrique de l’Est, centrale et du Sud (Figure 3.5.c).

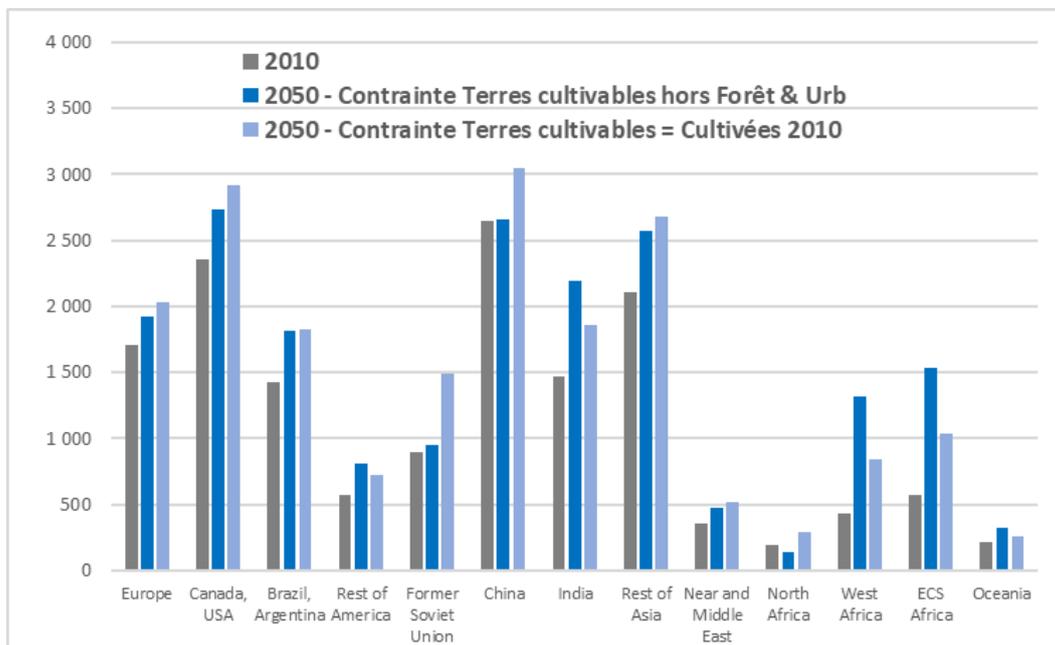
Au total et compte tenu de la croissance très soutenue de leurs populations et des besoins nutritionnels de celles-ci, les différentes régions africaines auront à faire face à une très forte augmentation des volumes de produits agricoles qu’elles auront à stocker, transporter, transformer et distribuer, soit à partir de leur production domestique, soit à partir de leurs importations. Ainsi, au-delà de l’amélioration de leurs capacités de production, la question des infrastructures nécessaires à la gestion de tels volumes reste centrale dans le développement des systèmes alimentaires africains (Kariuki, 2011 ; OnyekaEzealaji, 2019).

3.4. Accroissement majeur des taux de dépendance aux importations en cas de maintien des surfaces cultivées à leur niveau « actuel »

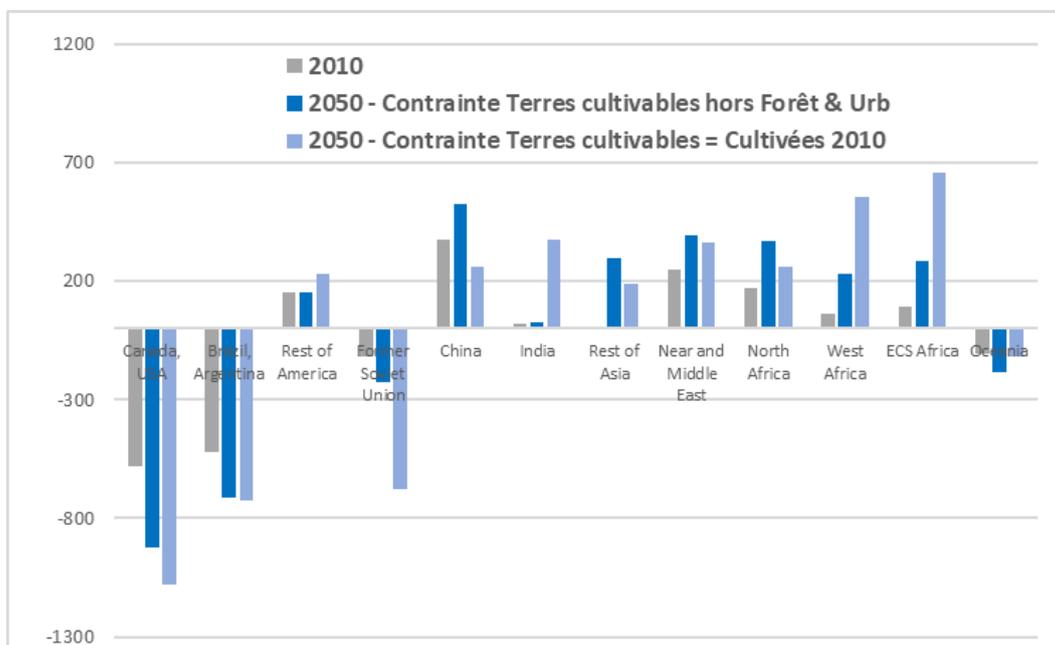
Comme on vient de le voir, la contrainte en terres cultivables définie selon GAEZ-v3 en 2050 en excluant les forêts et les surfaces susceptibles d’être urbanisées à l’horizon 2050 est, du fait de la disponibilité forte en terres cultivables que ces estimations proposent, suffisamment lâche en Afrique subsaharienne pour permettre une extension considérable des surfaces cultivées, fort probablement au détriment des surfaces toujours en herbe. Une telle évolution, qui risque de reporter assez mécaniquement sur les surfaces en prairies les tensions générées par l’extension des surfaces agricoles totales, questionne sur les impacts environnementaux de ces changements d’affectation des sols dans des écosystèmes fragiles : retournement des prairies pour mise en culture et déforestation pour exploitation de nouveaux espaces herbacés à des fins d’élevage. Pour limiter quelque peu ce risque de transfert, on a simulé les implications d’une contrainte en terres cultivables nettement plus sévère sur les composantes des systèmes alimentaires africains.

On s’est placé dans la situation la plus extrême possible, où on empêche toutes les régions du monde d’étendre les surfaces cultivées au-delà de leur niveau de « 2010 », ce qui signifie implicitement que l’on considère qu’il n’y aurait en 2050 plus aucune disponibilité en terres cultivables au-delà des surfaces actuellement mises en cultures. Sous cette contrainte supplémentaire et compte tenu des hypothèses faites sur les autres variables déterminant les équilibres emplois-ressources, le modèle GlobAgri-AE2050 est dans l’incapacité de trouver des solutions d’équilibre mondial dans trois des quatre scénarios envisagés. Au scénario déjà insoluble des « Régimes tendanciels & Rendements bas », s’ajoutent maintenant l’autre scénario à évolution modérée des rendements (« Régimes sains & Rendements bas »), ainsi que le scénario « Régimes tendanciels & Rendements hauts ». Seul le scénario « Régimes sains & Rendements hauts » permet d’aboutir à des bilans emplois-ressources équilibrés dans toutes les régions du monde et bouclés au niveau mondial.

Figure 3.6 – Production (a) et Importations nettes (b) en « 2010 » et 2050 sous contrainte i) de Terres cultivables 2050 hors Forêts & Urbanisation et ii) de Terres cultivables = Surfaces cultivées « 2010 » (scénario Rég. Sains & Rdts Hauts, en Tkal)



(a) Production



(b) Imports nets (hors régions européennes)

Source : simulations réalisées pour cette étude à partir du modèle GlobAgri-AE2050

Tout durcissement de la contrainte en terres cultivables se traduit mécaniquement (*via* GlobAgri-AE2050) par une limitation de la croissance des niveaux de production domestique des régions dont les besoins additionnels en surfaces cultivées sont, du fait des évolutions des différentes composantes de leur système alimentaire, positifs. C’est bien sûr le cas, et très nettement, de l’Afrique subsaharienne, mais aussi de l’Inde (Figure 3.6.a). Là où la production serait théoriquement en mesure

de tripler (Afrique de l’Ouest en « Régimes sains & Rendements hauts »), elle ne pourrait plus que doubler si les surfaces cultivées se maintenaient à leur niveau de « 2010 » ; et là où elle aurait été multipliée par 2,7 (Afrique de l’Est, centrale et du Sud), elle ne serait plus que multipliée par 1,8.²¹

Le corollaire d’une telle limitation des capacités productives de ces régions est un accroissement tout aussi mécanique de leurs importations (Figure 3.6.b). Ainsi, les volumes des importations nettes (importations - exportations) seraient multipliés par 9 en Afrique de l’Ouest (contre 3,8 en cas de contrainte en terres cultivables plus lâche) et par 7,3 en Afrique de l’Est, centrale et du Sud (contre 3,2 avec la contrainte précédente).²² L’Inde serait dans une situation similaire. Seules les régions du monde qui, sous les hypothèses précédentes, n’auraient pas à mobiliser toutes leurs surfaces cultivées « 2010 » pour satisfaire à leurs besoins domestiques et maintenir à l’identique leur position dans les échanges internationaux, seraient en capacité d’augmenter leurs surfaces cultivées 2050 et donc leurs productions et exportations à destination des régions qui en auraient besoin, notamment l’Afrique subsaharienne et l’Inde. C’est le cas de la région correspondant à l’Ex-URSS dont les exportations nettes seraient alors multipliées par 6 (contre un doublement en cas de contrainte en terres cultivables plus lâche). Seraient également concernées la région Canada-Etats-Unis et certaines régions européennes comme l’Europe de l’Est ou la Pologne.

Ces évolutions impressionnantes des volumes d’importations nécessaires aux régions d’Afrique subsaharienne pour subvenir à leurs besoins alimentaires se traduisent par une très forte augmentation de leur dépendance aux importations agricoles (Tableau 3.1). Si, quand elles ne sont pas contraintes dans l’extension de leurs surfaces cultivées, les taux de dépendance de ces deux régions n’évolueraient que peu compte tenu de la logique de fonctionnement du modèle (passage respectivement à 14 % et 16 %)²³, leurs taux de dépendance aux imports avoisineraient les 40 % et se rapprocheraient des taux actuels de dépendance de l’Afrique du Nord.²⁴

Comme évoqué ci-dessus, cette dépendance pourrait s’accroître notamment vis-à-vis des pays de l’Ex-URSS dont les limites physiques combinées à l’évolution de leurs besoins en produits agricoles leur permettraient de répondre aux besoins en importations des régions d’Afrique subsaharienne.

²¹ Sous cette contrainte de maintien des surfaces cultivées à leur extension de « 2010 », la position de l’Afrique du Nord est assez particulière, voire paradoxale. En effet, dans sa situation initiale, cette région mobilise pour ses cultures une superficie supérieure à ce que GAEZ-v3 considère comme cultivables (voir Le Mouél *et al.*, 2017). Ainsi, le passage à une contrainte visant le strict maintien des surfaces cultivées de début de période constitue ici un relâchement de la contrainte et non un durcissement. Sa capacité productive interne en est, à conditions techniques fixées, d’autant augmentée et non diminuée.

²² En conséquence du relâchement de sa contrainte sur les terres cultivables, l’Afrique du Nord, comme le Moyen-Orient, serait paradoxalement en capacité de réduire quelque peu ses importations.

²³ La logique du fonctionnement du modèle veut que, tant qu’une région n’est pas contrainte en termes de surfaces cultivables (c’est le cas ici des deux régions sub-sahariennes), les importations continuent à évoluer proportionnellement aux utilisations totales domestiques. Par conséquent, le taux de dépendance global de ces deux régions est quasi stable entre « 2010 » et 2050. La petite augmentation des dépendances qui est observée s’explique surtout par une augmentation légèrement plus forte des utilisations, et donc des importations des produits pour lesquels le taux d’import est un peu plus élevé que la moyenne, donc par une recombinaison entre produits des utilisations domestiques et des importations entre 2010 et 2050.

²⁴ Dans la mesure où les surfaces cultivées actuelles en Afrique du Nord dépassent leurs surfaces en terres cultivables, le maintien de la surface cultivée actuelle revient ici à relâcher la contrainte de terres par rapport à la situation analysée dans la section précédente. Ceci explique le résultat selon lequel l’Afrique du Nord retrouverait en 2050 un taux de dépendance proche de celui d’aujourd’hui.

Tableau 3.1 – Taux de dépendance nette aux importations des trois régions d’Afrique en « 2010 » et en 2050 sous scénario « Régimes sains & Rendements hauts », selon la contrainte en terres cultivables retenue (imports nets/utilisations domestiques totales, en %)

	« 2010 »	2050 : « Régimes sains & Rendements hauts »	
		Surfaces cultivables 2050, hors Forêts & Urb.	Surfaces cultivables en 2050 = Cultivées 2010
Afrique du Nord	46 %	75 %	48 %
Afrique de l’Ouest	12 %	14 %	37 %
Afrique Est, centrale et Sud	15 %	16 %	40 %

Source : simulations réalisées pour cette étude à partir du modèle GlobAgri-AE2050

* *

*

Au final, l’ensemble des résultats précédents montre que, même en ne se concentrant que sur les « seules » surfaces cultivées, la situation africaine serait à l’horizon 2050 potentiellement tendue : compte tenu de son dynamisme démographique et des déficits nutritionnels d’une frange importante de sa population, la demande en produits agricoles de ce vaste continent s’accroîtrait de façon très conséquente. A l’inverse de nombreuses autres régions du monde, la rupture avec des évolutions tendanciennes des régimes alimentaires et leur transition vers des « régimes sains » n’allégeraient pas la charge mais, au contraire, alourdiraient encore la croissance de la demande. Face à cette explosion de demande, les évolutions des conditions techniques de production sur lesquelles nous avons agi jusqu’ici (principalement les rendements végétaux et la superficie en terres cultivables) apparaissent insuffisantes pour éliminer les tensions qui pèsent sur ces systèmes alimentaires : en Afrique du Nord, la limitation et la réduction des disponibilités en terres cultivables à l’horizon 2050 rendent impossible une croissance suffisante de la production domestique pour faire face aux évolutions de la demande et engendrent une forte augmentation de la dépendance aux importations (Le Mouél *et al.*, 2017). En Afrique subsaharienne, en dépit d’une amélioration des rendements végétaux qui, dans l’intervalle de nos deux hypothèses, serait plus ou moins accentuée, l’extension des surfaces cultivées pourrait être considérable, sans pour autant empiéter sur les surfaces forestières, grâce aux importantes disponibilités en terres cultivables que suggère les données GAEZ. Si l’amélioration des rendements végétaux suit en Afrique subsaharienne la trajectoire la plus favorable tracée par les projections de la FAO (2012), modulées par les effets du changement climatique, l’extension des surfaces cultivées nécessaires s’établirait entre 84 et 122 millions ha, selon la trajectoire suivie par les régimes alimentaires (respectivement, « Régimes tendanciels » et « Régimes sains »).

Néanmoins, et même sans déforestation au profit direct des surfaces cultivées, de telles extensions auraient des conséquences environnementales non négligeables en termes de changement climatique et/ou de biodiversité, du fait *a minima* d’un mouvement important de retournements de surfaces herbacées et probablement d’une déforestation accrue par nécessité d’extension des surfaces pâturées. Nous examinerons dans la section suivante ce point délicat des surfaces toujours en herbe.

Pour pallier de tels risques, on a également envisagé la situation extrême d’un blocage des surfaces cultivées 2050 à leurs superficies de « 2010 ». Mécaniquement, la tension se reporte alors directement sur les échanges et sur les importations dont l’Afrique subsaharienne aurait besoin pour couvrir ses chocs de demande. Sa dépendance aux importations de produits agricoles, limitée en « 2010 » à 12-15 % de ses besoins, monterait en flèche pour avoisiner les 40 %, proches des taux de dépendance actuels de l’Afrique du Nord.

Il est clair qu’une partie des tensions que révèlent ces résultats est liée à la nature même du modèle utilisé : les effets induits par nos hypothèses et son fonctionnement sont assez mécaniques et ne reflètent que les capacités physiques des différentes régions du monde à faire face à des évolutions de demande telles qu’envisagées. Un modèle économique introduirait ici un mécanisme de régulation d’au moins une partie de ces tensions par les prix et des évolutions différenciées de plusieurs de nos variables de sortie, voire d’entrée. On peut en effet raisonnablement anticiper que les tensions entre une forte demande et les possibilités d’y faire face par des augmentations des rendements et des surfaces cultivées se traduiraient par des augmentations des prix, et donc par des effets rétroactifs à la baisse sur la demande. En d’autres termes, on assisterait plutôt à une dégradation de la sécurité alimentaire mondiale quantitative, notamment en Afrique, ou alors, si la demande est maintenue aux niveaux tels que nous les avons fixés ici de façon exogène, les hausses de prix engendreraient une détérioration des conditions d’accès à l’alimentation dont souffriraient en particulier les ménages les plus pauvres qui consacrent une part proportionnellement plus élevée de leurs revenus à l’alimentation. Dans « la vie réelle », les deux mécanismes d’ajustement seront à l’œuvre avec détérioration de la sécurité alimentaire au double titre des disponibilités et des conditions d’accès.

En résumé, les difficultés que l’Afrique devra affronter à l’horizon 2050 seront potentiellement extrêmes, voire insolubles, et interrogent, si on cherche à remplir les objectifs nutritionnels retenus, sur les évolutions des conditions de production ou d’échanges à prévoir.

Notre levier majeur a été jusqu’ici de jouer sur les évolutions de rendements végétaux en s’appuyant sur deux séries de projections combinant des effets contrastés des évolutions du changement technique à ceux du changement climatique. Nos « Rendements bas » principalement issus de FAO (2018) sont souvent considérés comme s’inscrivant dans la continuité des tendances actuelles, alors que nos « Rendements hauts » principalement portés par FAO (2012) apparaissent comme plus optimistes et nécessiteraient, notamment en Afrique subsaharienne, de profondes ruptures dans les pratiques agricoles (réduction des *yield gaps*, irrigation, limitation des pertes aux récoltes, etc.). Il n’apparaît, à ce stade, pas raisonnable d’envisager des évolutions de rendements végétaux supérieures à celles de notre hypothèse haute, déjà considérée comme difficilement atteignables.

D’autres voies d’amélioration des conditions techniques de production pourraient donc être explorées en s’appuyant sur les autres variables d’offre du modèle : augmentation des intensités culturales dans les différentes régions d’Afrique, notamment *via* l’irrigation, là où ce serait possible ; amélioration des efficiences animales en Afrique, notamment subsaharienne, et des pratiques d’élevage, sachant que de telles évolutions pourraient se heurter au rôle et à la place du cheptel dans les sociétés africaines. Nous y reviendrons dans ce qui suit.

Parallèlement et quoi qu’il arrive, répondre aux besoins nutritionnels des populations africaines à l’horizon 2050 nécessiterait de très importants volumes de production à stocker, transporter, transformer, distribuer, qu’ils soient issus de la production domestique ou importés. L’enjeu va ici au-delà des seules conditions techniques de la production agricole ; il concerne le développement et la mise à hauteur de l’ensemble des infrastructures requises pour acheminer vers les consommateurs de tels volumes en évitant d’accroître les pertes et gaspillages aux différents stades des filières agricoles (OnyekaEzealaji, 2019).

4. LA TRÈS DÉLICATE QUESTION DES SURFACES EN HERBE ET DE L’EXTENSION DES BESOINS EN PRAIRIES

Au-delà de l’extension des surfaces cultivées qui, par hypothèse, n’empiète pas sur les espaces forestiers, les surfaces non cultivées mais utilisées par les animaux (*i.e.* les pâtures et/ou prairies permanentes, pâturées ou fauchées) évolueront également en conséquence des évolutions démographiques et des régimes alimentaires. Nous traitons à part ce complément indispensable à l’examen des surfaces cultivées pour analyser l’extension des surfaces agricoles totales et donc les risques de déforestation (ou les potentielles afforestations) dans les différentes régions du monde. Cette dimension est difficile à intégrer directement dans l’analyse des dynamiques des systèmes alimentaires mondiaux du fait des incertitudes qui pèsent sur les données relatives à l’herbe et à l’intensité de son usage par les animaux d’élevage, notamment dans les bases de la FAO (*FAOStat*) et de la faible documentation disponible sur les évolutions possibles des usages et pratiques concernant ces surfaces.

C’est pourquoi, avant d’examiner les résultats de nos projections sur ce volet des surfaces agricoles, nous discuterons des limites des données FAO utilisées. Puis, après avoir rappelé les hypothèses spécifiques que nous avons faites sur les usages de l’herbe et les conséquences qu’elles pourraient avoir sur les résultats, nous analyserons les évolutions projetées à 2050 des surfaces en herbe à travers le monde et introduirons quelques leviers supplémentaires pour tenter d’en limiter l’extension, en particulier en Afrique subsaharienne.

4.1. Les surfaces en prairies permanentes et leur usage par les animaux : une évaluation difficile au travers de données de la FAO

Selon *FAOStat*, les surfaces en prairies permanentes dans le monde s’élevaient en « 2010 » à 3,2 milliards d’hectares, dont près de 700 millions d’hectares en Afrique subsaharienne (145 millions ha en Afrique de l’Ouest et 551 millions ha en Afrique de l’Est, centrale et du Sud).²⁵ C’est sur ces bases « 2010 » que nous avons réalisé les projections à 2050 des surfaces en prairies permanentes. Il s’agit des données que *FAOStat* classe dans la catégorie « *Permanent meadows and pasture* », c’est-à-dire des prairies au sens large, pâturées ou fauchées et éventuellement retournées sur une période supérieure à 5 ans.²⁶ *FAOStat* est actuellement la seule source qui met à disposition des données de surfaces en prairies permanentes au niveau de chaque pays du monde, renseignées annuellement depuis 1961. Les données de IIASA-GAEZ sont, elles aussi, disponibles par pays, mais elles sont moins à jour, l’année de référence étant 2000, et combinent les catégories « *Grassland* » et « *Woodland* » de sorte que l’on ne peut pas y distinguer l’une de l’autre.²⁷

Les estimations de surfaces en prairies permanentes à l’échelle du monde sont assez rares dans la littérature, et diffèrent souvent les unes des autres en fonction de la définition des prairies qui y est utilisée (lorsqu’elle est précisée) et de l’année de l’estimation. Ainsi, par exemple, Havlik *et al.* (2011)

²⁵ Données extraites en 2017 pour l’étude Tibi *et al.* (2020).

²⁶ La définition actuelle de la catégorie par *FAOStat* “Land under permanent meadows and pastures” précise que : “Land used permanently (five years or more) to grow herbaceous forage crops through cultivation or naturally (wild prairie or grazing land). Permanent meadows and pastures on which trees and shrubs are grown should be recorded under this heading only if the growing of forage crops is the most important use of the area. Measures may be taken to keep or increase productivity of the land (*i.e.* use of fertilizers, mowing or systematic grazing by domestic animals). This class includes: Grazing in wooded areas (agroforestry areas, for example), Grazing in shrubby zones (heath, maquis, garigue), Grassland in the plain or low mountain areas used for grazing: land crossed during transhumance where the animals spend a part of the year (approximately 100 days) without returning to the holding in the evening: mountain and subalpine meadows and similar, and steppes and dry meadows used for pasture.” (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/RL> : “Definitions and Standards”)

²⁷ <https://www.gaez.iiasa.ac.at/>

et, plus récemment, Mottet *et al.* (2017) estiment à 2 milliards d’hectares les surfaces en prairies utilisées dans le monde pour des productions animales. En se basant notamment sur les travaux de Robinson *et al.* (2014), Mottet *et al.* (2017) retirent des surfaces en prairies permanentes habituellement rapportées par la FAO, les 1,5 milliard d’hectares qu’ils considèrent sans bétail car correspondant à des terres « très marginales » en parcours (« *Rangelands* ») ou à des écosystèmes arbustifs (« *Shrubby ecosystems* »).

Henderson *et al.* (2015) évaluent, quant à eux, les surfaces en prairies à 2,6 milliards d’hectares dans le monde. Pour ce faire, ils mobilisent une procédure permettant de se conformer simultanément aux données provenant de GAEZ et *FAOStat*, tout en excluant également des surfaces sans bétail (basés sur des publications de la FAO, 2007 et 2011). Cette surface est ensuite répartie entre parcours (« *Rangelands* ») identifiés comme la portion des prairies qui incluent de la végétation native (Melillo *et al.*, 1993), et pâtures (« *Pasturelands* ») identifiées comme les surfaces recevant une culture périodique d’herbe avec fertilisation ou irrigation.

Les données *EarthStat*, décrites par Ramankutty *et al.* (2008), estiment à environ 3,15 milliards d’hectares les surfaces en prairies dans le monde, en cartographiant des zones de pâturage (et de cultures) pour l’année 2000. Ces données combinent plusieurs sources de données géospatialisées ainsi que des statistiques nationales et sub-nationales en vue de proposer une répartition mondiale la plus plausible possible de ces surfaces. Procédant à une comparaison de ces données avec celles issues de *FAOStat*, les auteurs signalent la difficulté qu’il y a à distinguer les surfaces en prairies et la catégorie « *Forests & Woodland* » (alors utilisée par *FAOStat*). En effet, les savanes et les « *shrubs* » (parfois sujet aux pâturages nomades) seraient inclus dans l’une ou l’autre de ces deux catégories selon les pays rapporteurs, induisant une surestimation des surfaces en pâtures dans certains pays (tels que l’Arabie Saoudite, par exemple). Il est important de noter que, depuis, *FAOStat* intègre explicitement ces surfaces dans sa catégorie des « prairies permanentes ».²⁸

En plus des enjeux liés aux définitions retenues pour caractériser les pâtures (avec ou sans animaux, prairies « cultivées » ou « sauvages », etc.), l’année d’estimation joue aussi un rôle dans les écarts entre estimations. La plupart de sources essaient de se conformer aux rapports nationaux de *FAOStat*, alors que les données de la FAO ont subi plusieurs révisions en termes de définition des catégories et des (re)mises à jour depuis les années 2000. *FAOStat* reste cependant la référence dans la plupart des études portant sur les enjeux de sécurité alimentaire et de l’élevage.

Par souci de cohérence avec la manière dont sont projetées les autres variables du modèle, les projections de prairies permanentes réalisées dans le cadre de cette étude s’appuient sur les données *FAOStat* pour « 2010 », soit 755 millions ha de prairies permanentes pour l’ensemble du continent africain, sachant que ces surfaces sont le plus souvent dédiées au pastoralisme et donc font essentiellement l’objet de pâturage, parfois très extensif. La discussion qui précède invite néanmoins à la prudence et à garder en tête une probable surévaluation des surfaces utilisées par les animaux et, corrélativement, une sous-estimation possible des intensités d’usage des prairies (« *grazing intensities* ») ou, pour le dire autrement mais moins précisément, des rendements de la production d’herbe ou de son utilisation par les animaux.²⁹ Adopter une vision plus restrictive des surfaces en herbe utilisées par les animaux, telle que, par exemple, celle issue de Mottet *et al.* (2017), aurait pour effet « mécanique » d’augmenter les rendements de l’herbe calculés en « 2010 » (pour assurer la cohérence avec les besoins en fourrages des animaux, notamment des ruminants). En conservant les mêmes hypothèses d’évolution

²⁸ Même si les pays peuvent bien sûr continuer à rapporter les pâtures selon leurs propres définitions.

²⁹ On utilisera dans la suite de ce rapport indifféremment « rendements de la production d’herbe », « productivité de l’herbe » et « intensité d’usage des prairies » pour désigner les « *grazing intensities* », paramètre qui, compte tenu de son calcul, représente plus l’intensité d’usage de ces surfaces qu’un rendement tel que retenu pour les surfaces cultivées.

des rendements de l’herbe, les évolutions de ces surfaces entre « 2010 » et 2050 seraient de même ampleur en proportion mais bien moins accentuées en nombre d’hectares requis.

4.2. Des hypothèses sur les évolutions d’intensité d’usage de l’herbe assez conservatrices qui entraînent des extensions potentiellement impossibles des surfaces pâturées en Afrique subsaharienne

Rappelons tout d’abord la façon dont sont traitées les surfaces en prairies permanentes et leur usage dans le mode de fonctionnement de GlobAgri-AE2050, et les hypothèses retenues sur celles-ci. D’une part, ces surfaces toujours en herbe n’interviennent pas dans la contrainte de terres que nous avons réduite aux seules surfaces cultivées, du fait des fortes incertitudes qui pèsent sur les évaluations des surfaces prairiales dans les statistiques mondiales. Les surfaces en herbe peuvent donc s’étendre théoriquement sans limite en fonction des besoins domestiques en produits animaux.

D’autre part, l’évolution de ces surfaces est principalement pilotée par les hypothèses faites sur certaines variables clefs du système : il s’agit d’abord du rendement de la production d’herbe (ou de l’intensité des usages des prairies), de la place qu’occupe ce type de fourrages dans les rations des ruminants et de ses conséquences sur les efficacités animales, auxquels il convient d’ajouter le poids de la viande de ruminants dans les consommations de produits animaux.

Nous avons adopté une hypothèse particulièrement conservatrice en matière de rendements de production de l’herbe, considérant qu’il n’y aurait pas d’ici à 2050 d’évolutions techniques susceptibles d’améliorer le rendement des prairies permanentes (en tonnes par hectare). Ces rendements n’évolueraient alors que sous les effets du changement climatique.³⁰ Sous cette hypothèse, les rendements de l’herbe resteraient assez faibles dans les différentes régions d’Afrique et toujours en deçà de la moyenne mondiale de productivité des prairies (*cf. supra* 2.2.3). Le maintien de cet écart revient à considérer une certaine constance des pratiques et rôles spécifiques de l’élevage et du cheptel au sein du continent africain.

Suivant en cela la même logique, les efficacités animales des ruminants telles qu’elles ressortent du travail spécifique réalisé pour leur (ré)évaluation (Forslund *et al.*, 2020), sont ici, comme dans nombre de travaux (Wirsenius, 2000 ; Bouwman *et al.*, 2005 ; Herrero *et al.*, 2013), particulièrement faibles en ce qui concerne les régions africaines, ce qui se traduit par des besoins en fourrages plus élevés que dans les autres régions du monde pour atteindre des niveaux de production identiques. Rappelons que les performances du cheptel africain ne sont vues ici qu’au travers du prisme de sa productivité pour l’alimentation humaine, et que leur faiblesse relative s’explique par la non prise en compte des autres rôles sociaux du cheptel (mode de traction, pastoralisme et nomadisme, fonction patrimoniale, etc.). Les projections à l’horizon 2050 de ces efficacités animales les fait en outre peu évoluer et privilégie un recours accru aux fourrages pour les bovins destinés à la viande, ce qui augmente encore les besoins en prairies permanentes. Combinée à la faible progression des rendements de l’herbe, ces hypothèses amplifient les besoins en pâtures, surfaces spécifiquement destinées aux animaux, reflet du maintien des pratiques et des fonctions actuelles de l’élevage et du cheptel.

³⁰ Il s’agit ici d’une différence importante avec la plupart des travaux de modélisation et de simulation de la sécurité alimentaire mondiale, expliquant les importants écarts entre nos résultats et ceux issus de ces travaux sur l’évolution des surfaces en prairies permanentes. Bien que ces travaux documentent peu les évolutions des rendements de l’herbe, on peut penser qu’ils s’appuient sur des hypothèses d’évolution nettement plus marquées à la hausse que les nôtres. En effet, ils mobilisent, pour les évolutions des rendements de l’herbe, des processus d’évolution technique de même nature que pour les cultures. Si nous avions procédé de la sorte, les évolutions des rendements de l’herbe auraient été nettement plus favorables, modifiant profondément les résultats. Elles ne tiendraient alors peu compte des spécificités actuelles du cheptel africain ou auraient incluses de façon trop implicite l’hypothèse de profondes transformations de ses fonctions.

Compte tenu de la force de ces deux hypothèses (productivité des prairies permanentes et recours aux fourrages pour l’alimentation des bovins), nos résultats dans ce domaine sont à considérer avec prudence. Ils permettent cependant d’identifier les régions du monde où les tensions sur les surfaces agricoles pourraient devenir particulièrement cruciales à l’horizon 2050 du fait notamment des besoins en fourrages.

Sous ces hypothèses, nos projections mettent en lumière une forte extension des surfaces en prairies permanentes dans toutes les régions du monde sous hypothèse de « Régimes tendanciels & Rendements hauts » et sous contrainte en terres cultivables GAEZ-v3 2050 hors Forêts et Urbanisation (Tableau 4.1). Ces extensions sont particulièrement marquées en Afrique subsaharienne et en Asie où les surfaces en prairies permanentes mobilisées pourraient être multipliées par 2 ou 3 entre « 2010 » et 2050. Elles sont plus modérées sur le continent américain et en Europe. La région correspondant à l’Ex-URSS et l’Afrique du Nord font exception pour des raisons diamétralement opposées. En Ex-URSS, c’est la baisse globale de la demande, du fait notamment du faible dynamisme de la démographie, qui est responsable d’un moindre recours aux prairies permanentes en 2050, alors qu’en Afrique du Nord, c’est la contrainte pesant sur l’extension des surfaces cultivées qui induit un moindre recours aux prairies permanentes *via* l’accroissement des importations de produits animaux au détriment de la production domestique.

Tableau 4.1 – Surfaces en prairies permanentes en « 2010 » et à l’horizon 2050 selon les régions du monde et les hypothèses d’évolution des régimes alimentaires et des rendements végétaux
(contrainte de terres = surfaces cultivables 2050 hors Forêts & Urb., en millions ha)

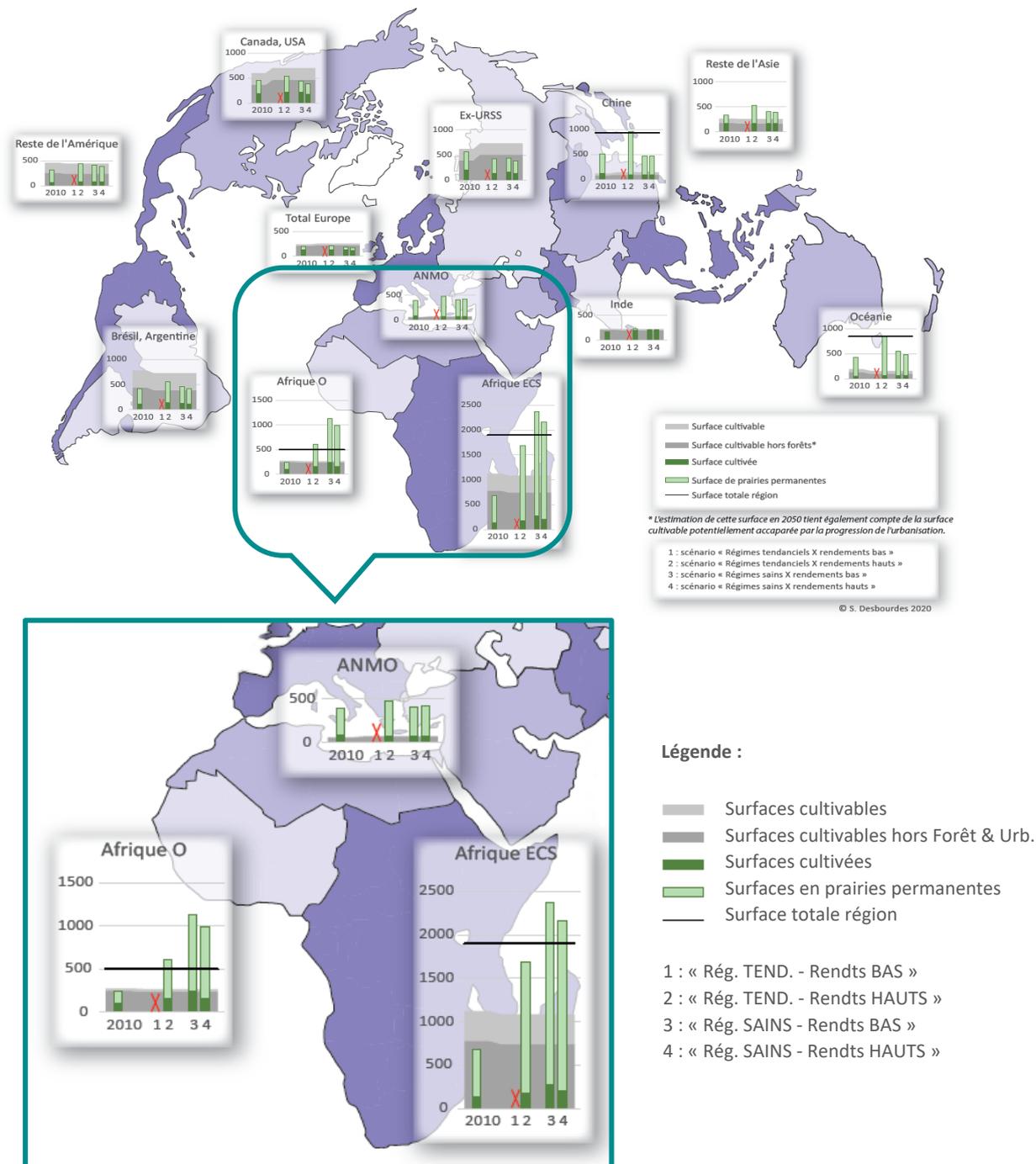
	« 2010 »	Contrainte Terres cultivables 2050 hors Forêts & Urb.			Contrainte Terres cultivables = Surf. Cultivées 2010
		Rég. tend. - Rdts hauts	Rég. sains - Rdts bas	Rég. sains - Rdts hauts	Rég. sains - Rdts hauts
Europe	72	78	61	55	66
Canada, Etats-Unis	265	315	228	211	226
Brésil, Argentine	304	422	328	298	309
Reste de l’Amérique	254	366	338	310	300
Ex-URSS	363	284	271	254	285
Chine	393	860	373	367	395
Inde	10	22	16	19	15
Reste de l’Asie	168	370	242	227	228
Proche & Moyen-Orient	243	383	297	284	312
Afrique du Nord	59	28	44	64	66
Afrique de l’Ouest	145	451	885	829	643
Afrique E., C. & S.	551	1 515	2 099	1 959	1 720
Océanie	371	785	497	421	521
Reste du monde	2	2	2	1	3
Total monde	3 199	5 881	5 682	5 299	5 089

Sources : FAOStat (pour « 2010 ») et simulations réalisées pour cette étude avec le modèle GlobAgri-AE2050

Comme attendu, le passage à des régimes alimentaires plus « sains » allègerait la pression sur les besoins en prairies permanentes à l’échelle mondiale ; il serait même en mesure d’induire une contraction des surfaces en herbe utilisées par les animaux dans la plupart des régions du monde. Ainsi, en Europe et en Amérique du Nord (Canada-Etats-Unis), la baisse de la consommation de produits animaux liée à la transition alimentaire envisagée se traduirait par une inversion de tendance et donc par une contraction des surfaces prairiales utilisées, rejoignant ainsi l’Ex-URSS où le phénomène serait encore plus accentué. La Chine serait également concernée par une telle contraction, ainsi que le Brésil-Argentine dans le cas où les évolutions des rendements de leurs cultures seraient élevées (« Régimes sains & Rendements

hauts »). Dans le Reste de l’Asie et le Reste de l’Amérique, la tendance serait plutôt à l’allègement de la pression et donc à une moindre extension des surfaces en herbe. Seule l’Afrique subsaharienne ne suivrait pas ce mouvement. Au contraire et comme on pouvait s’y attendre, le passage à des régimes alimentaires plus « sains » engendrerait une accélération encore plus marquée de l’extension des surfaces en prairies permanentes : elles seraient multipliées par 6 (par rapport à « 2010 ») en Afrique de l’Ouest et par 3,5-4 en Afrique de l’Est, centrale et du Sud.

Figure 4.1 – Projections à 2050 des surfaces cultivées et en prairies permanentes par région du monde selon les hypothèses d’évolution des régimes alimentaires et des rendements végétaux (contrainte de terres = surfaces cultivables 2050 hors Forêts & Urb., en millions ha)



Sources : FAOStat (pour « 2010 ») et simulations réalisées pour cette étude à l’aide du modèle GlobAgri-AE2050

L’introduction d’une contrainte plus stricte sur l’extension des surfaces cultivées (avec un maintien de ces surfaces à leur niveau « 2010 », contrainte que ne peut soutenir que le jeu d’hypothèses « Régimes sains & Rendements hauts », *cf. supra*) redistribue quelque peu les cartes en allégeant un peu la charge qui pèse sur les prairies de l’Afrique subsaharienne par un recours accru aux importations, y compris de produits animaux, pour faire face aux restrictions de capacités de production domestique. Néanmoins, les surfaces en prairies mobilisées par les animaux seraient multipliées par 4,5 en Afrique de l’Ouest et par 3 en Afrique de l’Est, centrale et du Sud.

En cumulant ces extensions de surfaces en prairies permanentes avec celles des surfaces cultivées, on mesure mieux la pression que les projections à l’horizon 2050 des systèmes alimentaires des différentes régions du monde font peser sur les terres et les risques de déforestation, liés dans ce travail à la seule extension des besoins en pâturage pour les animaux (Figure 4.1). D’un côté, l’Amérique du Nord (Canada-Etats-Unis), la région de l’Ex-URSS, l’Europe et même la Chine ou le Brésil-Argentine pourraient être en capacité de réduire ou de contenir l’extension de leurs surfaces agricoles totales, notamment grâce à des transitions alimentaires vers des régimes alimentaires « sains ». Les risques de déforestation associés aux extensions des surfaces agricoles seraient d’autant plus atténués que les rendements des cultures évolueraient favorablement. L’Inde ainsi que l’Afrique du Nord ne subiraient pas d’augmentation de leurs surfaces agricoles totales, du fait de leur contrainte en terres cultivables, à laquelle s’ajoute, dans le cas de l’Inde, la faible extension initiale des surfaces en herbe. L’extension des surfaces agricoles concernerait peu le Reste de l’Amérique, le Reste de l’Asie et l’Océanie.

La pression sur les terres agricoles serait extrême pour les deux régions de l’Afrique subsaharienne. Ainsi, les surfaces agricoles totales passeraient, dans ces régions, de 928 millions ha en « 2010 » à 2,3 milliards ha sous hypothèse de « Régimes tendanciels & Rendements hauts », et à 3,5 milliards ha en cas de « Régimes sains & Rendements bas ». La combinaison de « Régimes sains » et « Rendements hauts » limiterait cette extension à 3,2 milliards ha, que l’ajout d’une contrainte visant au maintien des surfaces cultivées à leur niveau de « 2010 » ramènerait à 2,3 milliards ha. Quel que soit le jeu d’hypothèses retenu, les surfaces agricoles de cette région du monde seraient multipliées par 2,5 *a minima* et par 3,8 dans la situation la plus défavorable. De telles extensions atteindraient rapidement les limites physiques des 2,4 milliards ha de terres émergées de cette partie du continent (Figure 4.1). Les besoins en surfaces agricoles totales de l’Afrique de l’Ouest qui s’étageraient entre 603 millions ha (« Régimes tendanciels & Rendements bas ») et 1,1 milliard ha (« Régimes sains & Rendements bas »), dépassent systématiquement les limites physiques de cette région qui s’étend sur 501 millions ha, dont 89 millions ha actuellement en forêt. En Afrique de l’Est, centrale et du Sud, dont la superficie totale est beaucoup plus vaste (1,9 milliard ha, dont 575 millions ha actuellement en forêt), seul le scénario « Régimes tendanciels & Rendements bas » affiche un besoin en surfaces agricoles totales (1,7 milliard ha) restant dans les limites physiques de la région mais il ne serait réalisable qu’au prix d’une mobilisation de toutes les surfaces cultivables ou non, en herbe ou en forêt. Si on vise un rattrapage nutritionnel permettant d’aller vers des régimes alimentaires « sains », les besoins en surfaces agricoles totales (2,4 et 2,2 milliards ha avec respectivement des « Rendements bas » et des « Rendements hauts ») excèderaient largement la superficie de la région.

Bien sûr, comme on l’a noté en introduction de cette section, ces résultats, particulièrement irréalistes, sont directement liés aux hypothèses très conservatrices retenues en matière de rendements de l’herbe des prairies permanentes et d’efficacités animales et à la difficulté d’identifier les surfaces prairiales initiales, notamment dans cette partie du monde. Bien qu’ils soient à considérer avec prudence, nos résultats alertent de façon majeure sur les tensions que l’objectif d’une sécurité alimentaire visant à nourrir « sainement » toutes les populations du monde, et notamment les populations africaines, pourrait engendrer dans cette région du monde et sur leurs conséquences

mondiales. Ces tensions se traduiraient en effet par des risques de déforestation accrue dans une région où celle-ci est déjà soutenue (Vancutsem *et al.*, 2021). Il y a donc lieu de rechercher, au moins pour cette partie du monde, de nouveaux leviers ou des leviers complémentaires permettant d’alléger ces tensions, et donc de réduire d’autant les risques de déforestation.

4.3. Trois leviers complémentaires pour tenter de limiter l’extension des surfaces agricoles en Afrique subsaharienne

Afin d’évaluer dans quelle mesure il serait possible, dans les différentes régions du monde et notamment en Afrique subsaharienne, de réduire l’expansion des surfaces agricoles et en particulier l’extension des prairies permanentes pour surmonter l’impossibilité mise en lumière précédemment, nous avons actionné trois leviers complémentaires à nos hypothèses de rendements et de régimes. Ces leviers qui agissent sur les conditions techniques des productions animales et sur certaines composantes de la demande, vont jouer tant sur l’expansion des surfaces en prairies permanentes que sur celle des surfaces cultivées.

Le premier levier (« +30 % de rendement d’herbe ») consiste à augmenter de façon uniforme les rendements de la production d’herbe des prairies permanentes ou, ce qui revient ici au même, de l’intensité de pâturage dans toutes les régions du monde de +30 % par rapport à « 2010 ». Cette augmentation *ad hoc*, dont la pertinence serait à tester région par région, a été définie en se référant aux taux d’évolution « moyens » des rendements des cultures entre « 2010 » et 2050 sous hypothèse de « Rendements bas », ce qui revient à se placer dans une position proche de celle des autres travaux portant sur la sécurité alimentaire mondiale (*cf. supra*, note 30).

Le deuxième levier (« +20 % Efficiences Animales en Afrique O & ECS ») consiste à jouer sur un autre paramètre d’offre mais uniquement en Afrique subsaharienne. En cohérence avec les évolutions de rendements des prairies permanentes définies ci-dessus, il consiste en une augmentation des efficiences animales de +20 % dans les deux régions de l’Afrique subsaharienne.³¹ Les bovins-viande et les petits ruminants sont en effet les plus gros consommateurs d’herbe : ils représentent 77 % de la consommation d’herbe totale de l’Afrique subsaharienne en « 2010 ». Ce levier va affecter à la fois les surfaces en prairies permanentes, y compris les surfaces pastorales, et les surfaces en cultures, car les bovins-viande et les petits ruminants utilisent également des aliments concentrés, même si leur importance dans les rations totales dédiée à ces secteurs est relativement faible dans ces deux régions.

Ces deux premiers leviers, qui modifient les performances techniques des productions animales et dont l’ampleur a été fixée ici de façon quelque peu arbitraire, impliquent en Afrique subsaharienne, ou au moins dans une partie notable de celle-ci, qu’il y ait des évolutions conséquentes des modes d’usage de l’herbe, des pratiques d’élevage des ruminants et, potentiellement, une évolution des fonctions dévolues au cheptel. Comme dans le cas des évolutions de rendements des cultures, nous ne cherchons pas et ne pouvons pas, au travers de notre approche et de l’analyse de sensibilité que nous pratiquons ici, à préciser les conditions, le contenu et les conséquences de tels changements.

Le troisième et le dernier levier (« Régimes carnés en Afrique O & ECS ») joue cette fois sur la demande en modifiant la structure de la consommation en produits animaux en Afrique subsaharienne. Il s’agit de proposer une structure alternative des « régimes sains » en substituant la consommation de viande de ruminants par de la viande de monogastriques en Afrique subsaharienne afin d’alléger le recours aux surfaces pâturées, tout en maintenant le niveau de consommation totale de viandes. Pour ce faire, nous avons fait la double hypothèse : (i) d’un niveau constant (par rapport à « 2010 ») de la consommation de viande bovine et de petits ruminants par habitant et (ii) d’un report sur la

³¹ *Via* la diminution des coefficients d’efficacité animale des bovins-viande et des petits ruminants de -20 %.

consommation de viande de monogastriques de la différence ainsi engendrée entre le niveau « 2010 » et le niveau 2050 de consommation de kilocalories animales (tout en gardant constante la proportion entre viandes de porc et de volailles par rapport à « 2010 »). Le tableau 4.2 présente les modifications induites dans la consommation individuelle et la demande totale des deux types de viandes dans les deux régions africaines ici considérées.

En Afrique de l’Ouest, la consommation de viande de ruminants par habitant passerait de 6 kg en « 2010 » à 14 kg par habitant en 2050 sous hypothèse de « Régimes sains » et la consommation de viande de monogastriques de 4 à 10 kg/habitant. La modification envisagée laisserait le niveau de consommation de viande de ruminants à 6 kg/habitant en 2050 et augmenterait la consommation de viande de monogastriques de 10 kg à 18 kg/habitant.³² La demande totale de viande de ruminants passerait alors de 1,85 million de tonnes en « 2010 » à 4,86 millions de tonnes en 2050, soit une diminution de 57 % par rapport à l’hypothèse de référence « Régimes sains » (11,2 millions de tonnes). A l’inverse, la demande en viande de monogastriques évolue de 1,26 millions de tonnes en « 2010 » à 14 millions de tonnes en 2050, soit une augmentation de +84 % par rapport à l’hypothèse de référence « Régimes sains » (7,6 millions de tonnes). Les évolutions sont similaires en Afrique de l’Est, centrale et du Sud : la consommation de viande de ruminants resterait limitée à 10 kg/hab/an (au lieu de 16 kg/hab/an en cas de transition vers des régimes « sains », induisant un plafonnement de la demande totale en viande de ruminants à près de 12 millions de tonnes (contre les 19 millions de tonnes du scénario initial) ; la consommation de viande de monogastriques passerait alors de 8 à 18 kg/hab/an (au lieu de 12 kg/hab/an dans le scénario initial de « Régimes sains ») pour une demande totale qui serait multipliée par 6 (au lieu de x 4).

Tableau 4.2 – Levier « Régimes carnés en Afrique O & ECS » : niveaux individuels de consommation de viande (en kg/hab./an) et conséquences sur la demande humaine totale de viande (en milliers de tonnes) dans les deux régions d’Afrique subsaharienne

Région	Type de viande	Consommation individuelle (kg/habitant/an)			Demande humaine totale (1000 t)		
		« 2010 »	2050 « Sains »	Levier « Rég. Afr. W&ECS »	« 2010 »	2050 « Sains »	Levier « Rég. Afr. W&ECS »
Afrique Ouest	Ruminants	6	14	6	1 845	11 177	4 857
	Monogastriques	4	10	18	1 258	7 618	14 022
Afrique E., C. & S.	Ruminants	10	16	10	4 671	18 899	11 747
	Monogastriques	8	12	18	3 688	14 921	22 333

Source : FAOStat (pour « 2010 ») et simulations réalisées pour cette étude à l’aide du modèle GlobAgri-AE2050

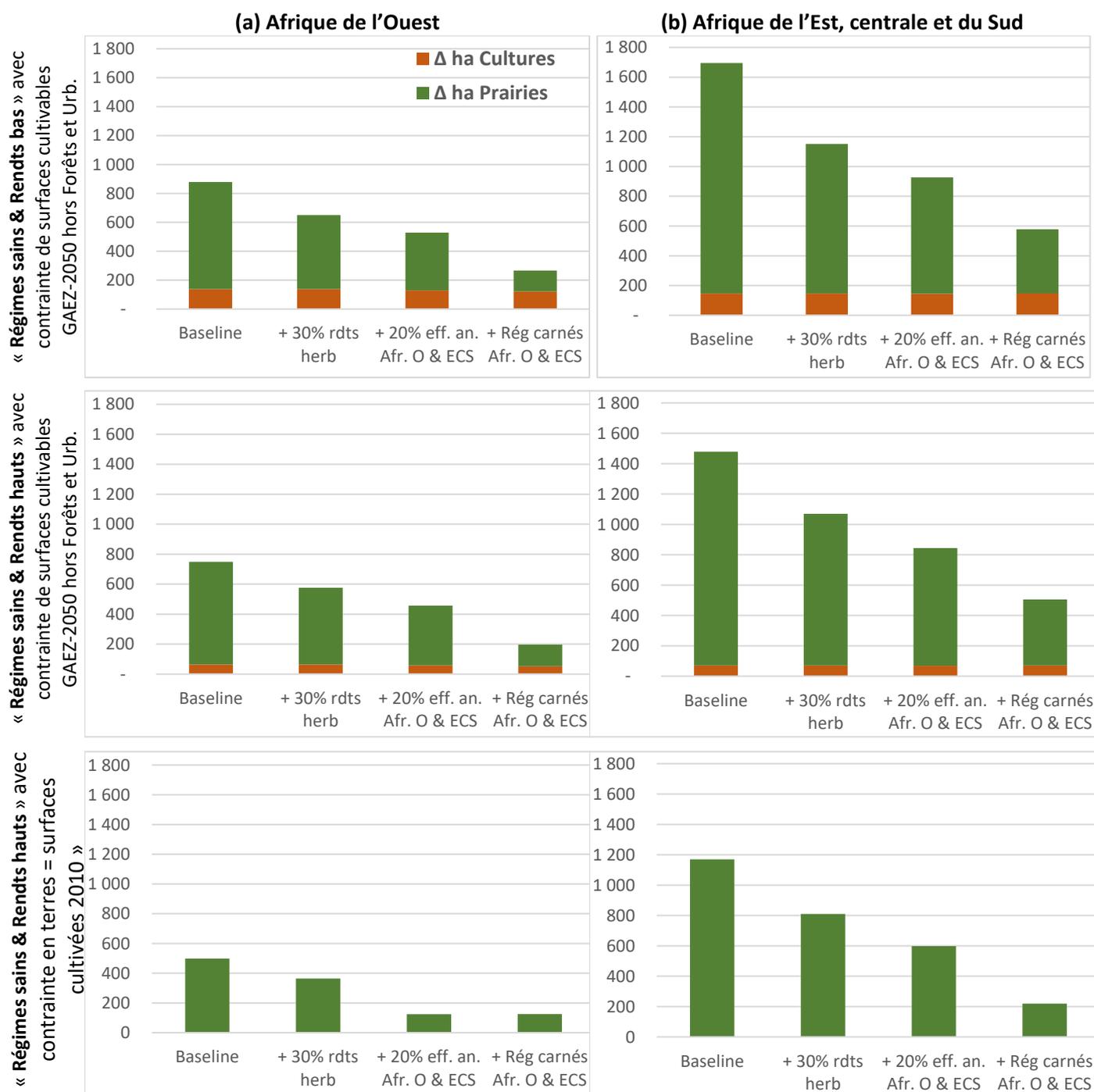
Les scénarios envisageant un passage vers des « Régimes sains » et le combinant avec des évolutions plus ou moins prononcées des rendements végétaux ont été re-simulés en y introduisant successivement ces trois leviers selon l’enchaînement suivant :

- « Scénario de référence » plus « +30 % rendement d’herbe » ∇ régions du monde
- « Scénario de référence » plus « +30 % rendement d’herbe » ∇ régions du monde, plus « +20 % Eff. Anim. Afr. O&ECS »
- « Scénario de référence » plus « +30 % rendement d’herbe » ∇ régions du monde, plus « +20 % Eff. Anim. Afr. O&ECS », plus « Rég. Afr. O&ECS » (*i.e.*, cumul des 3 leviers).

³² La consommation totale de viande dans l’option est bien égale, en équivalent calories, à la consommation totale de viande en régimes sains. Les coefficients caloriques sont sensiblement les mêmes entre les différents types de viande de ruminants et de monogastriques, ce qui explique des niveaux comparables de consommations en kg/habitant.

Les deux contraintes sur les terres cultivables utilisées précédemment ont été reprises ici : Terres cultivables 2050 GAEZ-v3 hors Forêts & Urb. ; Surfaces cultivées maintenues à leur niveau « 2010 ». Le recours à la seconde contrainte sur les terres cultivables n’induirait une augmentation des surfaces agricoles totales qu’au travers des évolutions des seules surfaces en prairies utilisées, les surfaces en cultures n’étant pas autorisées à dépasser leur niveau de « 2010 ».

Figure 4.2 – Demandes additionnelles de surfaces agricoles selon les différents leviers envisagés pour réduire l’extension des prairies permanentes en Afrique de l’Ouest (a) et en Afrique de l’Est, centrale et du Sud (b) selon les scénarios de « Régimes sains » (Δ « 2010 »-2050 en millions ha)



Source : Simulations réalisées pour cette étude à l’aide du modèle GobAgri-AE2050

On peut tout d’abord noter l’effet important que ces trois leviers complémentaires auraient sur une moindre expansion des prairies permanentes en Afrique subsaharienne, tout en ayant un effet nettement plus modéré sur la réduction des surfaces cultivées (Figure 4.2). Le cumul de ces trois leviers permet ainsi une baisse considérable de l’expansion des surfaces agricoles totales dans ces deux régions, sans pour autant annuler celle-ci.

Une croissance de +30 % à l’horizon 2050 des rendements de l’herbe (« +30% rdts herb » sur la Figure 4.2) permettrait une réduction des besoins en pâtures à l’horizon 2050 et rendrait ceux-ci compatibles avec l’objectif d’absence de déforestation (donc de ses effets délétères sur le changement climatique et la dégradation de la biodiversité) dans la quasi-totalité des régions du monde, à l’exception de l’Afrique subsaharienne. La demande additionnelle en surfaces agricoles totales y resterait supérieure à la surface forestière actuelle. En Afrique de l’Ouest, les surfaces agricoles nécessaires pour faire face aux évolutions de la demande augmenteraient de +650 millions ha sous hypothèse de « Régimes sains & Rendements bas » et contrainte « GAEZ-v3 2050 hors Forêts & Urb. », et de +576 millions d’ha en cas d’amélioration plus optimiste des rendements (« Rendements hauts ») sous la même contrainte. Elles augmenteraient de +364 millions ha sous la même hypothèse de « Rendements hauts » avec des surfaces cultivées en 2050 maintenues à leur niveau de « 2010 ». Le besoin en surfaces agricoles resterait plus conséquent en Afrique de l’Est, centrale et du Sud avec une expansion potentielle de +1 115 millions ha, de +1 070 millions ha ou de +810 millions ha respectivement pour les trois scénarios simulés ici. Cette exception subsaharienne est principalement due à l’accroissement très fort des besoins en prairies permanentes mobilisées par les cheptels de ces deux régions, à mettre directement en relation avec les faibles niveaux initiaux des intensités d’usage des surfaces en herbe. Des évolutions de +30 % à partir de valeurs initialement basses ne réduisent que très modérément les besoins en surfaces pâturées. Contrairement à ce qui a été fait pour les projections des rendements des cultures, nous n’avons pas différencié les évolutions de +30 % entre les régions et n’avons donc pas envisagé que les rendements des prairies permanentes puissent différer selon les régions et entamer un processus de réduction, même ténue, des écarts entre les intensités d’usage des prairies africaines et celles des autres régions du monde. Ce point nous paraît, à ce stade, en cohérence avec la position très spécifique de l’élevage dans les économies africaines et les enjeux tant économiques que sociaux et politiques qui entourent le pastoralisme et les différentes fonctions remplies par le cheptel dans cette partie du monde (Inter-réseaux, 2015 ; Grain de Sel 2016-2017 ; Hiernaux et Assouma, 2020). Hormis dans quelques zones et certains systèmes de production spécifique, une intensification plus rapide des usages des surfaces en herbe apparaît délicate à envisager pour nombre d’observateurs (Toutain *et al.*, 2012).

L’ajout d’une amélioration des efficacités animales de +20 % en cohérence avec l’augmentation des rendements de l’herbe (« +20% eff. an. Afr O & ECS » sur la Figure 4.2) allègerait un peu plus la pression sur les surfaces dédiées à l’agriculture en Afrique subsaharienne. La mise en œuvre d’un tel levier réduirait de 113 millions ha supplémentaires le besoin en prairies permanentes de l’Afrique de l’Ouest si la contrainte en terres cultivables autorise l’extension des surfaces cultivées jusqu’à leur disponibilité « GAEZ-v3 2050 hors Forêts & Urb. » (quelle que soit l’hypothèse de rendements des cultures), et de 240 millions ha si les surfaces cultivées sont limitées à leur niveau de « 2010 » (et donc en « Rendements hauts »). Les réductions de besoins en pâtures s’établiraient, pour l’Afrique de l’Est, centrale et du Sud à, respectivement, 222 millions ha et 212 millions ha selon la contrainte en terres cultivables retenue.

Enfin, une modification de la structure de la consommation de viande consistant en une substitution entre viande rouge et viande blanche (« Rég carnés en Afr. O & ECS » sur la Figure 4.2) se traduirait par un allègement supplémentaire de 255 millions ha de besoins en prairies permanentes en Afrique de l’Ouest si la contrainte en terres cultivables autorisait l’extension des surfaces cultivées jusqu’à leur disponibilité « GAEZ-v3 2050 hors Forêts & Urb. » (et ce, quelle que soit l’hypothèse de rendements

des cultures). Le gain est également conséquent en Afrique de l’Est, centrale et du Sud puisqu’il s’étage, selon les scénarios examinés, entre 340 et 380 millions ha. Quand la contrainte en terres cultivables empêche l’extension des surfaces cultivées au-delà de leur niveau de « 2010 », le levier de la substitution entre viandes a un effet assez fort sur les pâtures en Afrique de l’Est, centrale et du Sud, mais n’en a pratiquement aucun sur celles de l’Afrique de l’Ouest. Il y a, dans cette deuxième région, un effet de compensation sur les pâtures entre la production de viande bovine qui augmente (par rapport aux scénarios sans levier « Régimes ») et la production de viande de petits ruminants qui diminue. Cet effet est dû aux variations assez radicales des importations du fait de la forte contrainte de terres à laquelle les deux régions font alors face. Les importations de viande bovine diminuent en effet proportionnellement plus que les importations de viande de petits ruminants. En outre et contrairement à ce que l’on aurait pu envisager, l’impact de ce levier « Régimes » apparaît relativement faible sur les surfaces cultivées lorsque celles-ci sont autorisées à s’étendre selon les disponibilités en terres cultivables « GAEZ-v3 2050, hors Forêts & Urb. ». On s’attendrait à une augmentation des surfaces cultivées due à l’accroissement de la consommation de viande de monogastriques, *a priori* plus utilisatrice d’aliments concentrés que la viande de ruminants. On assiste, à l’inverse, à une diminution des surfaces cultivées en Afrique de l’Ouest et à une très légère augmentation en Afrique de l’Est, centrale et du Sud. En pratique, la diminution des surfaces cultivées en Afrique de l’Ouest s’explique par l’utilisation relativement faible de concentrés dans les secteurs monogastriques par rapport aux secteurs ruminants dans cette région.³³

Au total, le cumul des trois leviers envisagés ici, associant actions au niveau de l’offre (intensités d’usage des prairies et efficacités animales) et au niveau de la demande (substitution viande rouge-viande blanche) permet, quelles que soient les hypothèses retenues en matière de rendements des cultures ou de contrainte en terres cultivables, une réduction considérable des besoins en prairies permanentes et, par suite, en surfaces agricoles totales à l’horizon 2050. Sous contrainte de terres « GAEZ-v3 2050, hors Forêts & Urb. », les besoins additionnels en surfaces agricoles passeraient, dans l’hypothèse pessimiste des évolutions des rendements des cultures (« Rendements bas ») de +879 millions ha à +267 millions ha en Afrique de l’Ouest et de +1,695 milliard ha à +578 millions ha en Afrique de l’Est, centrale et du Sud. L’amélioration substantielle des rendements des cultures que porte l’hypothèse de « Rendements hauts » limiterait l’expansion des surfaces agricoles totales, après mise en œuvre des trois leviers envisagés ici, à +196 millions ha en Afrique de l’Ouest et à +505 millions ha en Afrique de l’Est, centrale et du Sud (sous la contrainte en terres « GAEZ-v3 2050, hors Forêts & Urb. »). Ces besoins en surfaces agricoles restent néanmoins encore supérieurs aux surfaces actuellement couvertes par des forêts dans chacune des deux régions. Un tel résultat peut être quelque peu nuancé selon les chiffres utilisés pour la forêt. En effet, selon la FAO, la forêt occupait, en « 2010 », 89 millions ha en Afrique de l’Ouest et 566 millions ha en Afrique de l’Est, centrale et du Sud ; les données GAEZ (utilisées ici car permettant de distinguer parmi les surfaces cultivables celles couvertes ou non en forêt) identifient, en 2000, seulement 56 millions ha en Afrique de l’Ouest et 460 millions ha en Afrique de l’Est, centrale et du Sud.

La limitation de l’expansion des surfaces cultivées à leur niveau de « 2010 », qui n’est simulable que dans le cas optimiste de « Régimes sains & Rendements hauts », aboutit, quant à elle, à une expansion potentielle des surfaces agricoles totales de +125 millions ha en Afrique de l’Ouest et +219 millions ha en Afrique de l’Est, centrale et du Sud, une fois actionnés les trois leviers complémentaires proposés ici (graphiques de la dernière ligne de la Figure 4.2). Sous ces conditions très restrictives et aux conséquences fortes en matière de dépendance aux importations, l’Afrique de l’Est, centrale et du Sud

³³ A titre d’exemple, les céréales consommées en « 2010 » par les porcs et volailles en Afrique de l’Ouest s’élevaient à environ 1,5 million de tonnes alors que les secteurs des ruminants en utilisaient plus de 4 millions de tonnes. Par contraste, en Afrique de l’Est, centrale et du Sud, les secteurs monogastriques (porcs et volailles) ont utilisé 6,2 millions de tonnes de céréales en « 2010 » et ceux des ruminants 2,2 millions de tonnes seulement.

serait en capacité physique d’étendre ses surfaces agricoles pour faire face à ces besoins mais au prix d’un mouvement de déforestation très important et accru par rapport aux tendances actuelles. L’Afrique de l’Ouest n’aurait toujours pas la capacité physique de subvenir à ses besoins, butant sur les limites géographiques de la région.

Ces résultats, plutôt inquiétants tant en termes de sécurité alimentaire qu’en termes de risque de déforestation (et donc de changement climatique et de dégradation de la biodiversité) en Afrique subsaharienne, nécessiteraient bien sûr d’être affinés géographiquement au travers d’un découpage plus fin du continent africain afin de préciser là où les verrous seraient les plus prégnants. Quoiqu’il en soit, ils amènent également à explorer d’autres pistes ou solutions pour surmonter au mieux l’obstacle mis en lumière ici. On pense ici à des réductions des pertes et gaspillages à tous les stades de la chaîne alimentaire, à des substitutions encore plus fortes entre viandes rouges et viandes blanches et, au-delà, entre protéines d’origine animale et protéines d’origine végétale, mais aussi à des augmentations plus prononcées des rendements des cultures, à des améliorations des efficacités animales s’appuyant sur des effets de seuil et/ou incluant davantage de fourrages cultivées dans les rotations et les rations. Nous n’envisageons pas ici de solutions qui consisteraient à des migrations hors Afrique subsaharienne plus importantes que celles qui ont été retenues au titre de l’hypothèse démographique des différents scénarios.

* *
*

Les projections des surfaces en prairies permanentes et pâtures dépendent très fortement des évaluations de la superficie qu’elles couvrent initialement et des hypothèses faites tant sur les évolutions de leur productivité que sur la place des fourrages dans l’alimentation animale et sur l’efficacité de leur transformation par les animaux. Selon nos modalités de simulation, les surfaces toujours en herbe mobilisées pour l’alimentation du bétail en Afrique, notamment subsaharienne, atteindraient en 2050 des niveaux particulièrement élevés, au point d’être susceptibles de s’étendre sur toutes les surfaces disponibles du continent et même de dépasser les limites géographiques de ces régions.

Une des premières raisons de la fragilité de ces résultats réside dans (i) la possible surestimation des surfaces actuellement en prairies permanentes dans les bases *FAOStat*, (ii) la surestimation du degré de leur utilisation par les élevages locaux et (iii) la sous-estimation potentielle de leur productivité initiale qui en découle. Des investigations complémentaires s’appuyant sur des sources d’information alternatives et peut-être plus robustes sur les surfaces en prairies dans le monde et en Afrique plus particulièrement, sur l’intensité de leurs usages et sur l’efficacité de leur transformation par les animaux seraient nécessaires pour confirmer, moduler ou infirmer ces résultats.

Au-delà, l’absence supposée d’amélioration du rendement des prairies permanentes et des efficacités animales par la mobilisation de changements techniques, à l’instar de ce qui a été envisagé plus haut pour les cultures, explique bien sûr largement ce résultat. C’est pourquoi des leviers complémentaires agissant sur ces deux composantes de l’offre agricole ont été explorés. Leur mise en œuvre améliore la situation sans pour autant éliminer les risques de déforestation du continent. Les évolutions envisagées restent, du moins sur la base de nos simulations, trop limitées pour que ces leviers atteignent seuls l’objectif d’un maintien global des surfaces agricoles à leur niveau actuel. Pour être poussées plus loin, ces évolutions nécessiteraient des ruptures profondes dans les modes de conduite des troupeaux et des pratiques d’élevage qui pourraient être antagonistes avec les rôles et fonctions sociales dévolues au cheptel en Afrique subsaharienne. Néanmoins, à l’horizon 2050, de telles bifurcations de pratiques et de performances peuvent être imaginées, dans la mesure où l’on peut en repérer quelques signaux plus locaux que continentaux (on trouvera des exemples de telles

améliorations développées localement dans Kabirizi *et al.*, 2013 ; Minten *et al.*, 2020 ; Marshall *et al.*, 2020 ; Mania *et al.*, 2020).

Quoiqu’il en soit, il apparaît de toutes façons nécessaire que soient complémentaires actionnés d’autres leviers, notamment relatifs à la demande alimentaire. Celui testé ici consiste en une simple substitution de la consommation de viande de ruminants par de la viande de granivores, moins dépendante des surfaces en pâtures, bien que plus demandeuse de surfaces cultivées (du moins en Afrique de l’Est, centrale et du Sud). Pour aller plus loin, il serait nécessaire de réviser de façon plus fondamentale les structures des consommations alimentaires dans le sens d’y limiter plus nettement le poids des produits d’origine animale, sans pour autant déroger à la trajectoire de convergence de couverture des besoins nutritionnels et/ou pousser à une divergence trop marquée des trajectoires alimentaires africaines par rapport à celles du reste du monde, si tant est que celles-ci s’orientent vers des transitions plus vertueuses. La piste de la réduction des pertes et gaspillages doit également être explorée.

5. CONCLUSION

Le recours à un modèle de bilan de fonctionnement assez simple nous a permis de projeter à l’horizon 2050 les équilibres emplois-ressources en biens agricoles de chaque région du monde, dans un découpage appréhendant le continent africain en trois régions loin d’être homogènes (Nord, Ouest, Est-Centre-Sud).³⁴ Cette démarche examine les conditions auxquelles, à l’horizon 2050, l’offre en biens agricoles de chaque région du monde serait en capacité de répondre à ses propres besoins et à ceux des régions qui seraient en difficulté pour y arriver. Si elles mettent en lumière les enjeux et les difficultés auxquelles les différentes régions seront confrontées en termes physiques, ces simulations et cette approche ne disent bien sûr rien sur les conditions économiques auxquelles ces équilibres pourraient être atteints et/ou seraient modifiés si on y intégrait les comportements économiques des acteurs et les régulations qu’ils induisent. De même, elles ne permettent pas d’identifier les (sous-)régions de l’Afrique subsaharienne au sein desquelles les verrous mis en lumière seraient les plus prégnants. Pour ce faire, il faudrait affiner le découpage continental utilisé ici, notamment en ce qui concerne l’« Afrique de l’Est, centrale et du Sud ».

Il n’empêche que, malgré ces limites, le travail présenté ci-dessus met en exergue les tensions susceptibles de voir le jour pour concilier enjeux alimentaires et enjeux environnementaux, notamment en Afrique. Deux trajectoires d’évolution des régimes alimentaires ont été envisagées : soit une évolution tendancielle, soit une transition vers l’adoption de régimes alimentaires plus « sains » au sens des recommandations formulées par l’OMS. A l’inverse de ce qu’elle induit dans la plupart des régions du monde et notamment dans les régions dites « développées » ou « en émergence », la seconde trajectoire se traduirait par un accroissement de la pression sur les demandes alimentaires africaines déjà fortement impactées par le doublement démographique attendu en Afrique à cet horizon. Parallèlement, les incertitudes sur les évolutions des conditions techniques de la production agricole sont fortes dans de nombreuses régions du monde et notamment en Afrique, où les performances techniques des agricultures locales apparaissent aujourd’hui assez faibles, en tout état de cause plus faibles que dans nombre d’autres régions du monde. Ces incertitudes sont renforcées par les effets des changements climatiques en cours et à venir (qui restent difficiles à préciser en dépit d’une littérature très prolixe), par les évolutions des pratiques agricoles qu’une approche plus respectueuse de l’environnement et du climat rendrait nécessaire, et par les progrès techniques et changements de pratiques qui pourraient émerger dans les décennies à venir. Pour prendre en compte ces incertitudes, on s’est donc appuyé sur deux hypothèses d’évolution des rendements végétaux définissant une fourchette large, et qui traduisent deux dynamiques possibles entre lesquelles pourraient évoluer ces rendements : elles combinent estimation des effets du changement climatique (température, précipitations, concentration atmosphérique en CO₂) basée sur la méta-analyse de Makowski *et al.* (2020) et évaluation des effets des changements techniques tels qu’appréhendés par les experts de la FAO dans ses deux rapports (FAO, 2012 et 2018).

In fine, aux conditions techniques de production ainsi fixées et sous les hypothèses d’évolution des régimes alimentaires telles qu’envisagées, il semble possible de répondre aux évolutions fortes de la demande africaine (ainsi que mondiale) en biens agricoles sans que les surfaces cultivées n’empiètent sur les surfaces boisées, mais au prix de fortes tensions foncières autour des systèmes alimentaires africains. On assisterait en effet à une forte extension des surfaces cultivées en Afrique subsaharienne qui, par hypothèse, se ferait au détriment principal des surfaces en herbe. Pouvant aller jusqu’à un doublement des surfaces cultivées, cette pression pourrait être limitée si les rendements des cultures

³⁴ Sans entrer dans le détail des disparités internes à ces très grandes régions africaines et sans prise en compte des fluctuations interannuelles de production dont les effets peuvent être importants, du fait de l’objectif initial de l’étude conduite par la DEPE d’INRAE à la demande de Pluriagri.

arrivaient à atteindre les niveaux de notre hypothèse de « Rendements hauts » (issus de FAO, 2012), jugés toutefois optimistes pour l’Afrique subsaharienne. Sous cette hypothèse, l’extension des surfaces cultivées africaines pourrait varier entre +32 % si les évolutions de régimes alimentaires suivaient une trajectoire tendancielle et +47 % si le monde s’engageait dans une transition vers des régimes plus « sains » se traduisant en Afrique subsaharienne par un rattrapage nutritionnel. On voit ici toute l’importance que revêt la trajectoire d’évolution des rendements végétaux et donc la nécessaire intensification des productions végétales en Afrique. Si certaines régions du monde peuvent se permettre d’envisager des baisses de rendements végétaux (et donc de leur niveau d’intensification)³⁵, il n’en est pas de même en Afrique notamment subsaharienne, où la mise en œuvre de pratiques agricoles et de technologies plus respectueuses de l’environnement doit se penser en même temps qu’une amélioration forte des rendements végétaux.

Le résultat précédent ne concerne que l’extension des surfaces cultivées qui, par hypothèse, se ferait ici sans impact sur la déforestation mais empièterait principalement sur les surfaces herbacées « cultivables » (en termes agro-climatiques), qu’elles soient actuellement utilisées ou non par le cheptel. Il ne dit donc rien sur l’extension des surfaces agricoles totales, c’est-à-dire prairies permanentes et pâtures comprises, et donc sur les risques de déforestation liée à l’activité agricole dans son ensemble. Ces surfaces en herbe utilisées par le cheptel seraient soumises à un double mouvement : (i) tout d’abord, l’extension des surfaces cultivées repousserait plus loin les surfaces prairiales vers des surfaces actuellement en forêt; (ii) s’ajouteraient à cela les besoins additionnels en prairies induits par l’augmentation de la demande en produits animaux, elle-même liée aux évolutions démographiques et de régimes alimentaires. Or, du fait du caractère (logiquement) conservateur des hypothèses faites en matière d’évolutions de la productivité de l’herbe et des efficacités animales, ces besoins additionnels en prairies permanentes pourraient être si considérables que les besoins en surfaces agricoles totales dépasseraient, dans tous les scénarios envisagés, les limites physiques du continent africain. Bien sûr questionnable dans le détail du fait des grandes imprécisions et des débats importants relatifs à la façon d’identifier concrètement ces surfaces prairiales dans les statistiques mondiales et d’évaluer leur performance (rendements de l’herbe ou intensité d’usage des surfaces en herbe) et celle des animaux qui les utilisent (efficacités animales et composition des rations), ce résultat met clairement en lumière l’importance du défi foncier auquel l’Afrique subsaharienne aura à faire face. On a tenté d’actionner différents leviers tant sur les conditions de l’offre (augmentation de la productivité de l’herbe et des efficacités animales) que sur les caractéristiques de la demande (report des hausses de consommation de viande de ruminants sur de la consommation de viande de granivores) mais, même s’ils atténuent assez nettement la pression sur les surfaces agricoles, ces leviers qui, pour deux d’entre eux, nécessitent probablement des changements notables des pratiques d’élevage, sont insuffisants pour éviter tout risque de déforestation du continent.

Parallèlement aux tensions foncières déjà fortes, les projections à l’horizon 2050 des équilibres emplois-ressources en biens agricoles, selon nos jeux d’hypothèses, mettent également en lumière une accentuation potentiellement importante des tensions sur les marchés des produits agricoles et alimentaires en Afrique. En effet, la très forte augmentation de la demande alimentaire attendue se traduirait par un doublement voire un triplement des volumes de production domestique et d’importations nettes, notamment en Afrique subsaharienne. Cette explosion des volumes à récolter,

³⁵ On pense bien sûr ici à l’exercice TYFA mené par l’IDDRI et l’AsCa (Poux et Aubert, 2018), à condition que les objectifs d’apports nutritionnels envisagés dans ces exercices soient bien en accord avec les *Food Balances* de la FAO et non basés sur des sources divergentes ayant tendance à sous-estimer les besoins en produits agricoles nécessaires à satisfaire les apports énergétiques réels. Plus généralement et sans doute de façon plus importante sur un plan politique, c’est aussi la route proposée par la Commission européenne dans le cadre du Green Deal (Commission européenne, 2019) comme le montrent, par exemple, Guyomard *et al.* (2020).

stocker, transporter, transformer et finalement distribuer met en lumière un autre défi majeur que l’Afrique (notamment subsaharienne) devra affronter, celui du développement des infrastructures qu’il faudra envisager à une échelle considérable tant en interne aux Etats et régions africaines – notamment pour assurer l’approvisionnement des villes dans un contexte où le continent africain connaîtra, comme les autres zones du monde, une urbanisation croissante –, qu’au niveau des installations portuaires et de réception des importations.

Selon les hypothèses faites sur les possibilités ou non d’extension des surfaces cultivées, les volumes d’importations nettes changeraient considérablement d’échelle. Dans l’hypothèse de base, permettant une extension des surfaces cultivées sans toutefois empiéter sur les forêts, l’accroissement des volumes importés par l’Afrique subsaharienne suivrait, en proportion, les évolutions de volumes produits localement, ce qui se traduirait par un doublement ou un triplement des volumes, sans accentuer les taux de dépendance aux importations agricoles des systèmes alimentaires subsahariens. En revanche, la contrainte en terres cultivables déjà forte aujourd’hui pour l’Afrique du Nord et qui s’accroîtrait encore à l’horizon 2050 dans cette région, pèserait lourd sur les capacités de production domestique et reporterait les évolutions de demande non satisfaites en interne sur un accroissement des besoins en importations : les taux de dépendance aux importations de cette région deviendraient extrêmes, avoisinant les 70 % des besoins en produits agricoles.

Comme on l’a vu plus haut, l’extension des surfaces cultivées permise par nos hypothèses de base pourrait être considérable en Afrique subsaharienne, et, cumulée aux besoins en prairies permanentes, engendrait un risque extrême de déforestation du continent. On a donc examiné ce qui se passerait si l’expansion des surfaces cultivées était rendue impossible de sorte qu’en 2050, ces surfaces en cultures ne pouvaient pas excéder leur niveau de « 2010 ». D’un côté, cette stratégie limiterait, les risques de déforestation, sans toutefois les éliminer complètement (du fait de l’extension des prairies permanentes). De l’autre, elle aurait pour corollaire immédiat un report sur les importations de toutes les biens agricoles qui ne pourraient plus être produits en interne. Les volumes d’importations de produits agricoles exploseraient : ils seraient multipliés par 7 ou 9, et les taux de dépendance aux importations passeraient de 12-15 % en « 2010 » à 40 % des besoins domestiques à l’horizon 2050, plaçant l’Afrique subsaharienne dans une position de dépendance peu soutenable.

Face à cet ensemble de risques, qui pourraient être aggravés par de multiples facteurs non pris en compte dans l’analyse (occurrence des événements climatiques extrêmes, raréfaction des ressources en eau, multiplication des invasions biologiques, émergence et diffusion de nouveaux bioagresseurs, etc.), et pour tenter d’atténuer les tensions extrêmes qui se profilent pour les décennies à venir, des leviers complémentaires doivent être explorés pour concilier enjeux alimentaires et enjeux climatiques et environnementaux dans le développement des systèmes alimentaires en Afrique. Du côté de l’offre de produits agricoles, il est peut-être difficile d’anticiper des augmentations de rendements végétaux allant au-delà de nos hypothèses de « Rendements hauts », notamment à cause de contraintes biotiques ou non biotiques dont les effets n’ont pu être pris en compte dans nos analyses (aléas climatiques récurrents, disponibilité en eau, pression de bioagresseurs, etc.). Cela impliquera d’aller encore plus loin dans une intensification écologique des systèmes de culture *via* la génétique, l’irrigation, la fertilisation (organique mais aussi minérale), la protection des cultures, avec une attention particulière sur les prairies et les fourrages. Une augmentation des intensités culturales par la pratique de doubles cultures, de cultures associées et de cultures en mélange, notamment *via* l’irrigation, beaucoup moins développée en Afrique subsaharienne qu’en Asie (Debar, 2019), pourrait être envisagée. Nous ne l’avons pas considérée à ce stade du fait des conséquences potentielles qu’elle pourrait avoir sur la ressource en eau, tant en termes de disponibilité que d’accès (Ringler *et al.*, 2020), qu’il faudrait mieux documenter. C’est un levier classiquement (mais trop souvent implicitement) mis en œuvre dans les exercices de prospective de ce type : il est pratique car très efficace pour réduire

les besoins additionnels en surfaces cultivées mais il serait nécessaire que ses conditions de réalisation soient explicitées et documentées de façon robuste, ce qui n’est pas le cas aux échelles macroéconomiques de cette étude avec des travaux qui se limitent à apprécier les effets sur les productions d’un accroissement des intensités culturales.

Comme on l’a noté à plusieurs reprises au fil de ce rapport, nos hypothèses en matière d’évolution des conditions d’élevage sont conservatrices : les efficacités animales ont été considérées comme évoluant peu d’ici à 2050 et les conditions techniques de gestion de l’herbe ont été considérées comme inchangées, ce qui, rappelons-le, revient à respecter les rôles actuels joués par l’élevage et le cheptel et les pratiques d’élevage correspondantes. On a néanmoins actionné ces deux leviers pour l’Afrique subsahariennes en vue de limiter l’extension des surfaces en herbe, mais les effets additionnels de ces leviers sont restés assez timides et ces leviers d’une efficacité limitée. Une réflexion complémentaire serait nécessaire pour penser une stratégie et une trajectoire d’intensification écologique des systèmes d’élevage qui nécessiterait des changements structurels importants et qui pourraient se heurter aux pratiques actuelles de pastoralisme et nomadisme et aux rôles spécifiques des cheptels africains (traction, patrimoine).

Un autre levier d’importance, classiquement actionné dans les exercices de prospective sur la sécurité alimentaire, consiste à réduire les pertes et gaspillages aux différents stades des filières agricoles. Les pertes à la récolte et dans les étapes de stockage, transport et distribution sont conséquentes dans les différentes régions africaines : Gustavsson *et al.* (2011) les évaluent, par exemple, à 30 % pour les racines & tubercules produites et à 40 % pour les fruits et légumes produits localement. L’enjeu de la réduction de ces pertes et gaspillages est donc important et pourrait être un levier à mobiliser pour améliorer la disponibilité de produits agricoles en Afrique. Néanmoins, l’accroissement considérable des volumes à traiter qu’engendrent les évolutions des demandes alimentaires africaines fait douter de la capacité à réduire fortement les taux de pertes et gaspillages de produits agricoles dans ces régions du monde. Maintenir à leur niveau actuel ces taux de pertes s’avère être déjà un défi important à relever puisqu’il nécessite de doubler ou tripler les capacités des infrastructures de stockage, transport et distribution. Aller au-delà est un objectif sans nul doute souhaitable, mais peut-être difficile à envisager comme levier premier de réduction des tensions mentionnées ci-dessus.

Il faut donc envisager complémentaiement des leviers d’action relatifs à la demande en produits agricoles en gardant en tête que l’objectif de transition vers des régimes alimentaires plus « sains » se traduit en Afrique subsaharienne par une augmentation des apports énergétiques individuels et donc par une augmentation additionnelle de la demande globale. Au-delà du levier de la réduction des pertes et gaspillages au niveau des ménages qui reste somme toute modeste en Afrique puisque concernant moins de 10 % des volumes consommés, des investigations complémentaires sur la composition précise des régimes alimentaires « sains » seraient nécessaires pour envisager d’atteindre les mêmes objectifs en réduisant ou annulant toute extension des surfaces agricoles : des substitutions plus prononcées que celles envisagées ici entre produits animaux et/ou entre produits animaux et végétaux modifieraient plus profondément les systèmes alimentaires et leurs impacts environnementaux et sanitaires. Une démarche telle que celle mise en œuvre par Kim *et al.* (2020) ou Clark *et al.* (2020) pourrait être mise en œuvre. Elle requiert d’être adaptée plus précisément aux contextes africains.

On terminera par deux aspects d’ordre méthodologique déjà évoqués au fil de ce rapport. Tout d’abord, un découpage géographique plus fin, notamment de l’« Afrique de l’Est, centrale et du Sud » ensemble au sein duquel pourraient *a minima* être distinguées l’Afrique de l’Est, l’Afrique centrale et l’Afrique australe, permettrait d’affiner ces éléments de diagnostic et de mieux identifier les parties de ce vaste continent où se concentrent les tensions. Par ailleurs, il est nécessaire de garder en tête

qu’une partie des tensions que révèlent les résultats des simulations est liée à la nature même du modèle utilisé : les effets induits par nos hypothèses et son fonctionnement sont assez mécaniques et ne reflètent que les capacités physiques des différentes régions du monde à faire face, ou non, à des évolutions de demande telles qu’envisagées. Un modèle économique introduirait un mécanisme de régulation d’au moins une partie de ces tensions par les prix et des évolutions différenciées de plusieurs de nos variables de sortie, voire d’entrée. On peut en effet raisonnablement anticiper que les tensions entre une forte demande et les possibilités d’y faire face par des augmentations des rendements et des surfaces (cultivées et toujours en herbe) se traduiraient par des augmentations des prix, et donc par des effets rétroactifs à la baisse sur la demande ; en d’autres termes, on assisterait plutôt à une dégradation de la sécurité alimentaire mondiale quantitative, notamment en Afrique. Ou alors, si la demande est maintenue aux niveaux tels que nous les avons fixés ici de façon exogène, les hausses de prix engendreraient une détérioration des conditions d’accès à l’alimentation dont souffriraient en particulier les ménages les plus pauvres qui consacrent une part proportionnellement plus élevée de leurs revenus à l’alimentation. Enfin, une variable « d’ajustement » non considérée dans cette étude est celle d’une évolution différente des démographies régionale, y compris par de plus fortes migrations entre zones, notamment en dehors de l’Afrique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aggarwal P., Vyas S., Thornton P., Campbell B.M., Kropff M., 2019. Importance of considering technology growth in impact assessments of climate change on agriculture. *Global Food Security*, 23: 41-48.
- Alexandratos N., Bruinsma J., 2012. *World Agriculture: Towards 2030/2050 – The 2012 Revision*. FAO, ESA Working Paper No 12-03, 154 p.
- Bahar N.H.A., Lo M., Sanjaya M., Van Vianen J., Alexander P., Ickowitz A., Sunderland T., 2020. Meeting the food security challenge for nine billion people in 2050: What impact on forests? *Global Environmental Change*, 62: 102056.
- Batterbury S., Frankline N., 2018. Land grabbing in Africa. In: *The Routledge Handbook of African Development*, Routledge International Handbooks, Routledge, London, pp. 573-582.
- Benoit-Cattin M., Bricas N., 2012. L’Afrique : quelles stratégies de sécurité alimentaire ? Enjeux et prospective. In : *Agriculture et alimentation : des champs géopolitiques de confrontation au XXIe siècle*. Paris : Club Déméter, 145-157. (Cahier Demeter, 13).
- Bouwman A.F., Van der Hoek K.W., Eickhout B., Soenario I., 2005. Exploring changes in world ruminant production systems. *Agricultural Systems*, 84(2):121-53.
- Clark M.A., Domingo N.G.G., Colgan K., Thakrar S.K., Tilman D., Lynch J., Azevedo I.L., Hill J.D., 2020. Global food systems emissions could preclude achieving the 1.5° and 2°C climate change targets. *Science*, 370: 705-708.
- Commission européenne, 2019. *Communication au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions. Le pacte vert pour l’Europe*. COM 649 final, 28 p + annexes.
- Debar J.-C., 2019. *Irrigation en Afrique : le besoin d’un sursaut*. Blog FARM, 15 janvier 2019.
- Debar J.-C., Tapsoba A. F., 2019. Les agricultures africaines au défi de la transformation structurelle (chapitre VI). In Chalmin P. & Jégourel Y. (dir.), *L’Afrique et les marchés mondiaux de matières premières*. ARCADIA (Annual Report on Commodities Analysis and Dynamics in Africa), pp. 67-80.
- Dodo M.K., 2020. Understanding Africa’s food security challenges. In Mahmoud B. (editor), *Food Security in Africa*, IntechOpen, e-book.
- Erb K.-H., Lauk C., Kastner T., Mayer A., Theurl M., Haberl H., 2016. Exploring the biophysical option space for feeding the world without deforestation. *Nature Communications*, 7:11382.
- EU & UA, 2016. *Roadmap towards a jointly funded EU-Africa Research & Innovation Partnership on Food and Nutrition Security and Sustainable Agriculture*. EU-Africa High Level policy Dialogue on Science, Technology and Innovation, Addis-Ababa, 4-5 April 2016, 15 p.
- FAO, 1996. *Rome Declaration on World Food Security and World Food Summit Plan of Action*. World Food Summit, 13-17 November 1996, Rome, Italy.
- FAO, 2007. *Gridded Livestock of the World 2007*. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.
- FAO, 2011. *Global Livestock Production Systems*. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.
- FAO, 2012 : voir Alexandratos N., Bruinsma J. (2012).
- FAO, 2018. *The Future of Food and Agriculture: Alternative Pathways to 2050*. FAO, Rome, 224 p.
- Fischer G., Hizsnyik E., Prieler S., van Velthuizen H., Wiberg, D., 2012. *Scarcity and abundance of land resources: competing uses and the shrinking land resource base*. In: *Worlds Within Reach: From Science To Policy - IIASA 40th Anniversary Conference*, 24-26 October 2012, Hofburg Congress Center, Vienna and IIASA, Laxenburg, Austria.
- Fischer G., Hizsnyik E., Prieler S., Wiberg D., 2010. *Scarcity and abundance of land resources: competing uses and the shrinking land resource base*. SOLAW Background Thematic Report. TR02 - FAO. 58 p.

- Forslund A., Marajo-Petitzon E., Tibi A., Guyomard H., Schmitt B. (coord.), 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), 218 p.
- Gasbu D., Demment M.W., Stoecker B.J., 2019. Challenges and opportunities to the African agriculture and food systems. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 19(1): 14190-14217.
- Grain de Sel, 2016-2017. *Le pastoralisme a-t-il encore un avenir en Afrique de l’Ouest ?* Grain de Sel, juillet 2016 - juin 2017, n° 73-74, 44 p.
- Guyomard H., Bureau J.-C., Chatellier V., Détang-Dessendre C., Dupraz P., Jacquet F., Reboud X., Réquillart V., Soler L.-G., Tysebaert M., (2020). *Research for AGRI Committee – The Green Deal and the CAP: policy implications to adapt farming practices and to preserve the EU’s natural resources*. European Parliament, 211 p.
- Gustavsson J., Cederberg C., Sonesson U., van Otterdijk, Meybeck A., 2011. *Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes and Prevention*. FAO, Rome, 37 p.
- Hall C., Dawson T.P., Macdiarmid J.I., Matthews R.B., Smith P., The impact of population growth and climate change on food security in Africa: looking ahead to 2050. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 15 (2): 124-135.
- Havlik, P., Herrero, M., Mosnier, A., Obersteiner, M., Schmid, E., Fuss, S., & Schneider, U. A. (2011). *Production system based global livestock sector modeling: Good news for the future* (No. 726-2016-50079).
- Henderson, B. B., Gerber, P. J., Hilinski, T. E., Falcucci, A., Ojima, D. S., Salvatore, M., & Conant, R. T. (2015). Greenhouse gas mitigation potential of the world’s grazing lands: Modeling soil carbon and nitrogen fluxes of mitigation practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 207, 91-100.
- Herrero M., Havlík P., Valin H., Notenbaert A., Rufino M.C., Thornton P.K., Blümmel M., Weiss F., Grace D., Obersteiner M., 2013. Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. *PNAS*, 110 (52): 20888-20893.
- Hiernaux P., Assouma M.H., 2020. Adapting pastoral breeding to global changes in West and Central tropical Africa: review of ecological views. *Revue d’élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 73 (3) : 149-159.
- Inra-DEPE (2018). *Principes de conduite des expertises et des études scientifiques collectives menées pour éclairer les politiques et le débat publics* (version 1 - Mai 2018). Inra (France), 42 p.
- Inter-réseaux Développement rural, 2015. Le paradoxe de l’élevage au Sahel : forts enjeux, faibles soutiens. *Bulletin de synthèse souveraineté alimentaire* n° 16 (avril 2015), 8 p.
- IPCC, 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Agriculture, forestry and other land use; Emissions for livestock and manure management, 4, Chap. 10, 87 pp.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.
- van Ittersum M.K., van Bussel L.G.J., Wolf J., Grassini P., van Wart J., Guilpart N., Claessens L., de Groot H., Wiebe K., Mason-D’Croz D., Yang H., Boogaard H., van Oort P.A.J., van Loon M.P., Saito K., Adimo O., Adjei-Nsiah S., Agali A., Bala A., Chikowo R., Kaizzi K., Kouressy M., Makoi J.H.J.R., Ouattara K., Tesfaye K., Cassman K.G., 2016. Can sub-Saharan Africa feed itself? *PNAS*, 113(52): 14964-69.

- Jacquemot P., 2018. *Des terres agricoles disponibles en Afrique subsaharienne ?* Les Dossiers WillAgri, 15 p.
- Jacquemot P., 2021. *Souverainetés agricole et alimentaire en Afrique : la reconquête.* L'Harmattan, 324 p.
- Janin P., 2021. L'autonomisation alimentaire de l'Afrique en perspective. In *Le Demeter 2021. Produire et se nourrir. Le défi quotidien d'un monde déboussolé*, Paris : Club Demeter et IRIS, pp. 61-78.
- Kabirizi J., Ziiwa E., Mugerwa S., Ndikumana J., Nanyennya W., 2013. Dry season forages for improving dairy production in smallholder systems in Uganda. *Tropical Grasslands*, 1: 212–214.
- Kariuki J.G., 2011. *The Future of Agriculture in Africa.* Boston University, The Pardee Papers, N° 15, August 2011, 46 p.
- Kim B.F., Santo R.E., Scatterday A.P., Fry J.P., Synk, C.M., Cebon S.R., Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., de Pee S., Bloem M.W., Neff R.A., Nachman K.E., 2020. Country-specific dietary shifts to mitigate climate and water crises. *Global Environmental Change*, 62(2020): 101926. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.05.010>
- Lambin E.F., Meyfroidt P., 2011. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *PNAS*, 108 (9): 3465-3472, <http://www.pnas.org/content/pnas/108/9/3465.full>.
- Lambin E.F., Gibbs H.K., Ferreira L., Grau R., Mayaux P., Meyfroidt P., Morton D.C., Rudel T.K., Gasparri I., Munger J., 2013. Estimating the world's potentially available cropland using a bottom-up approach. *Global Environmental Change*, 23 (5): 892-901.
- Le Mouël C., Forslund A., 2017. How to feed the world in 2050: A review of the responses from global scenario studies. *European Review of Agricultural Economics*, 44 (4): 541-591.
- Le Mouël C., Forslund A., Marty P., Manceron S., Marajo-Petitzon E., Caillaud M.A., Schmitt B., 2017. *La dépendance alimentaire de l'Afrique du Nord et du Moyen-Orient à l'horizon 2050.* Paris-Versailles : Editions Quae, 144 p.
- Le Mouël C., Forslund A., 2018. Land Use Change Trajectories in Existing Scenario Studies. In: Le Mouël C., de Lattre-Gasquet M., Mora O. (eds), *Land Use and Food Security in 2050: a Narrow Road. Agrimonde-Terra.* Paris: Quae, pp. 47-53.
- Le Mouël C., de Lattre-Gasquet M., Mora O. (eds), 2018. *Land Use and Food Security in 2050: a Narrow Road.* Agrimonde-Terra. Paris: Quae, 403 p.
- van Meijl H., Shutes L., Valin H., Stehfest E, van Dijk M., Kuiper M., Tabeau A., van Zeist W.-J., Hasegawa T., Havlik P., 2020. Modelling alternative futures of global food security: Insights from FOODSECURE. *Global Food Security*, 25: 100358, <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100358>.
- Maina K.W., Ritho C.N., Lukuyu B.A., Rao E.J.O., 2020. Socio-economic determinants and impact of adopting climate-smart Brachiaria grass among dairy farmers in Eastern and Western regions of Kenya. *Heliyon*, 6: e04335.
- Makowski D., Marajo-Petitzon E., Durand J.-L., Durand J.-L., Ben-Ari T., 2020. Quantitative synthesis of temperature, CO2, rainfall, and adaptation effects on global crop yields. *European Journal of Agronomy*, 115: 126041.C.
- Marshall K., Salmon G.R., Tebug S., Juga J., MacLeod M., Poole J., Baltenweck I., Missohou A., 2020. Net benefits of smallholder dairy cattle farms in Senegal can be significantly increased through the use of better dairy cattle breeds and improved management practices, *Journal of Dairy Science*, 103:8197–8217 <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17334>
- Melillo J. M., McGuire A. D., Kicklighter D. W., Moore B., Vorosmarty C. J., Schloss A. L., 1993. Global climate change and terrestrial net primary production. *Nature*, 363(6426), 234-240.
- Minten B., Habte Y., Tamru S., Tesfaye A., 2020. The transforming dairy sector in Ethiopia. *PLoS ONE*, 15(8): e0237456. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237456>

- Monfreda C., Ramankutty N., Foley J. A., 2008. Farming the planet: 2. Geographic distribution of crop areas, yields, physiological types, and net primary production in the year 2000. *Global biogeochemical cycles*, 22, GB1022.
- Mottet A., de Haan C., Faluccci A., Tempio G., Opio C., Gerber P., 2017. Livestock: on our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. *Global Food Security*, 14, 1-8.
- Mora O., Le Mouél C., de Lattre-Gasquet M., Donnars C., Dumas P., Réchauchère O., *et al.*, 2020. Exploring the future of land use and food security: A new set of global scenarios. *PLoS ONE*, 15(7): e0235597. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235597>
- Müller C., Cramer W., Hare W.L., Lotze-Campen H., 2011. Climate change risks for African agriculture. *PNAS*, 108 (11): 4313-4315.
- NEPAD, 2015. *The CAADP Results Framework (2015-2025)*. NEPAD Planning and Coordinating Agency, 14 p.
- ONU, 2017. *World Population Prospects: The 2017 Revision*. Department of Economic and Social Affairs, <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>.
- Onyango A.W., Jean-Baptiste J., Samburu B., Mahlangu T.L.M., 2019. Regional overview on the double burden of malnutrition and examples of program and policy responses: African region. *Annals of Nutrition & Metabolism*, 75: 127-130
- OnyekaEzealaji N.W., 2019. Infrastructure for agricultural & rural development in Sub Saharan Africa: need for a comprehensive program and adequate investment. *Journal of Scientific Research and Reports*, 23 (3): 1-8.
- Ordway E.M., Asner G.P., Lambin E.F., 2017. Deforestation risk due to commodity crop expansion in sub-Saharan Africa. *Environmental Research Letters*, 12: 044015.
- Otte J., Pica-Ciamarra U., Morzaria S., 2019. A comparative overview of the livestock-environment interactions in Asia and sub-Saharan Africa. *Frontiers in Veterinary Science*, Volume 6, Article 37, 13 p.
- Poux X., Aubert P.-M., 2018. *Une Europe agroécologique en 2050 : une agriculture multifonctionnelle pour une alimentation saine. Enseignements d’une modélisation du système alimentaire européen*. Paris : Iddri-ASCA, Study N°09/18, 78 p.
- Ramankutty N., Evan A. T., Monfreda C., Foley J. A., 2008. Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. *Global biogeochemical cycles*, 22(1).
- Ringler C. et al., 2020. Irrigation to Transform Agriculture and Food Systems in Africa South of the Sahara. In *Sustaining Africa’s Agrifood System Transformation. Role of Public Policies*, ReSAKKS 2020 Annual Trends and Outlook Report.
- Robinson T. P., Wint G. W., Conchedda G., Van Boeckel T. P., Ercoli V., Palamara E., ... & Gilbert M., 2014. Mapping the global distribution of livestock. *PloS one*, 9(5), e96084.
- Roudart L., 2010. Terres cultivables et terres cultivées : apports de l’analyse croisée de trois bases de données à l’échelle mondiale. *Notes et Etudes Socio-Economiques*, 34 : 57-95.
- Roudier P., Sultan B., Quirion P., Berg A., 2011. The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say? *Global Environmental Change*, 21(3): 1073-1083. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2011.04.007
- Sahn D.E., 1990. The impact of export crop production on nutritional status in Côte d’Ivoire. *World Development*, 12: 1635-1653.
- Studwell J., 2019. Success stories can change the course of Africa’s development. ODI (Overseas Development Institute), <https://odi.org/en/insights/success-stories-can-change-the-course-of-africas-development/>
- Tadele Z., 2017. Raising crop productivity in Africa through Intensification. *Agronomy*, 7: 22.
- Thompson T., Gyatso T., 2020. Technology adoption for improving agricultural productivity in sub-Saharan Africa. *Global Agricultural Productivity (GAP) Report*, October 2020, 6 p.

- Tibi A. (coord.), Forslund A. (coord.), Debaeke P. (coord.), Schmitt B. (coord.), Guyomard H. (coord.), 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 + Annexes.
- Tirado M.C., Hunnes D., Cohen M.J., Lartey A., 2015. Climate change and nutrition in Africa. *Journal of Hunger & Environmental Nutrition*, 10: 22-46.
- Toreti A., Deryng D., Tubiello F.N. et al., 2020. Narrowing uncertainties in the effects of elevated CO2 on crops. *Nature Food*, 1: 775–782. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-00195-4>
- Toutain B., Marty A., Bourgeot A., Ickowicz A., Lhoste P., Ancey V., Begni G., Bellefontaine R., Bied-Charreton M., Bonnet B., Chassany J.-P., Cornet A., Dutilly-Diane C., Malagnoux M., Wane A.. 2012. *Pastoralisme en zone sèche : Le cas de l’Afrique subsaharienne*. Montpellier : CSFD, 60 p. (Les dossiers thématiques : CSFD, 9).
- Valentin C., 2021. Défendre les sols pour nourrir le monde. In *Le Demeter 2021. Produire et se nourrir. Le défi quotidien d’un monde déboussolé*, Paris : Club Demeter et IRIS, pp. 115-128.
- Vancutsem C., Achard F., Pekel J.-F., Vieilledent G., Carboni S., Simonetti D., Gallego J., Aragao L., Nasi R. (2021). Long-term (1990–2019) monitoring of forest cover changes in the humid tropics. *Science Advances*, 7: eabe1603
- Wirsenius S. (2000). *Human Use of Land and Organic Materials: Modeling the Turnover of Biomass in the Global Food System*. Gothenburg, Swed.: Chalmers Univ. Technol.
- WHES (World Hunger Education Service), 2017. Africa Hunger and Poverty Facts. WHES, Hunger Notes, Africa page. <https://www.worldhunger.org/africa-hunger-poverty-facts-2018/>
- Woodhouse P., Veldwisch G.J., Venot J.-P., Brockington D., Komakech H., Manjichi A., 2016. African farmer-led irrigation development: re-framing agricultural policy and investment. *The Journal of Peasant Studies*, 44: 213-233.



Centre-siège Paris Antony
Direction de l'expertise scientifique
collective, de la prospective et des études
147 rue de l'Université - 75338 Paris cedex 07
Tél. +33 1 (0)1 42 75 94 90

Rejoignez-nous sur :



inrae.fr

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



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

INRAE