CHAPITRE 6

SCÉNARIOS DE CHANGEMENT

Compte tenu de la demande croissante de terres et des nouveaux défis liés à la dégradation des terres et au changement climatique, les décideurs politiques ont besoin d'informations sur les conséquences possibles. Ce chapitre explore les tendances jusqu'en 2050, grâce aux scénarios des Trajectoires socio-économiques communes (Shared Socio-Economic Pathways - SSP), sur la base du rapport '*Exploring the impact of changes in land-use and land condition on food, water, climate change mitigation and biodiversity: Scenarios for the UNCCD Global Land Outlook*'.[1]

Des scénarios différents indiquent de grandes différences dans l'utilisation future des terres, mais l'Afrique subsaharienne, le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord, l'Asie du Sud et, dans une moindre mesure, l'Asie du Sud-Est sont les régions qui subiront le poids de la croissance démographique et de la consommation globale, ainsi que la pression croissante sur les ressources terrestres restantes. Dans tous les scénarios, on prévoit que le changement régional d'utilisation des terres le plus important aura lieu en Afrique subsaharienne ; cependant, les meilleures terres sont déjà utilisées et l'expansion s'étendra de plus en plus sur des terres moins productives, entraînant des récoltes plus faibles. Plusieurs régions ont peu de terres restantes pour l'expansion agricole ou uniquement des terres marginales, comme en Asie du Sud.

Les changements futurs dans l'état des ressources terrestres devraient également être étendus en raison de l'évolution continue de l'utilisation des terres et de la détérioration des sols, de la couverture terrestre et de la biodiversité. La perte de biodiversité, en termes d'abondance moyenne des espèces, devrait se poursuivre de 4 à 12 % jusqu'en 2050, selon le scénario et elle se poursuivra dans la seconde moitié du 21e siècle. Les changements de couverture terrestre et de la qualité du sol affectent la probabilité d'inondation et de sécheresse. Les effets sont amplifiés dans les zones sèches, qui font également face à une croissance démographique supérieure à la moyenne. Près de 20 % de la superficie des terres d'Afrique subsaharienne montre une baisse de productivité lorsqu'elle est corrigée pour les effets climatiques, contre 5 à 10 % dans la plupart des autres

régions. Au niveau mondial, d'ici 2050, il y aura peut-être une expansion supplémentaire de 5 % des terres cultivées pour compenser ces pertes de productivité.

À ce jour, le carbone organique du sol mondial a été réduit de 176 Gt par rapport à l'état naturel et non perturbé. Si les tendances actuelles se poursuivent, les émissions anthropiques de dioxyde de carbone liées à l'exploitation des terres, en particulier des sols et de la végétation, ajouteront à peu près 80 Gt de carbone à l'atmosphère au cours de la période 2010-50, ce qui équivaut à environ 8 ans d'émissions de carbone mondiales actuelles provenant des combustibles fossiles. L'abattement de ces émissions projetées liées à l'exploitation des terres laisserait intacte une plus grande partie du bilan général de carbone de 170-320 Gt C (c.-à-d. la quantité d'émissions de CO_2 qui peuvent encore être émises sans compromettre l'objectif de maintien d'une augmentation moyenne de la température mondiale inférieure à 2 °C). Le potentiel mondial de stockage du carbone dans les sols est considérable, mais il nécessite le développement de systèmes agricoles combinant des rendements élevés avec des niveaux de carbone organique dans les sols proches de ceux de la nature.

INTRODUCTION

Les scénarios mondiaux sur le changement d'utilisation et la dégradation des terres représentent des histoires potentielles, des descriptions et des évaluations de la façon dont l'avenir pourrait se dérouler ; l'état futur potentiel de l'utilisation, de la demande et de la condition des ressources terrestres. Les scénarios présentés ici sont un outil afin d'explorer les incertitudes associées aux éventuelles trajectoires de développement futures axées sur les dimensions humaines et environnementales pertinentes.[2] La demande croissante en nourriture, en eau, en énergie, en logement et autres biens et services issus de l'exploitation des terres, et les impacts qui en résultent sur la qualité et la productivité de celles-ci, sont au cœur de ces scénarios.

L'objectif principal d'un scénario dans ce contexte est d'aider les décideurs à explorer et à façonner l'avenir, ainsi qu'à réaliser une vision à long terme du développement durable pour tous. Dans la troisième partie de cet ouvrage, des scénarios réduisant la pression sur nos ressources terrestres sont traduits en principes et trajectoires de réponse largement compris. En analysant les différentes pressions et forces qui stimulent le changement de l'utilisation et de la dégradation des terres, les scénarios permettent également à une gamme d'acteurs à différentes échelles de tester la mesure dans laquelle la demande prévue et la gestion des ressources terrestres aideront à réaliser les Objectifs de développement durable (ODD) et leurs cibles, en particulier la cible 15.3 des ODD sur la neutralité en matière de dégradation des terres.

Trajectoires socio-économiques communes

La modélisation mondiale nécessite une méthodologie convenue, qui repose sur le développement d'histoires cohérentes, suivie d'une modélisation transparente.[3] Plus récemment, les Trajectoires socio-économiques communes (SSP) ont été développées pour fournir un cadre pour l'analyse de scénarios, tenant compte de multiples forces motrices du développement économique, de la population, du développement technologique, de l'utilisation des terres et de la coopération internationale.

Les SSP représentent des caractérisations alternatives de futurs possibles de la société à utiliser par différentes communautés de recherche, dont des descriptions narratives des tendances futures et des informations quantitatives pour certains des éléments clés. Ce chapitre est basé sur l'analyse de scénarios[4] entreprise par l'Agence néerlandaise d'évaluation environnementale PBL, en coopération avec l'Université de Wageningen, l'Université d'Utrecht et le Centre commun de recherche de la Commission européenne, avec le soutien de nombreux experts de différents domaines et organisations. Il montre les résultats de trois scénarios exploratoires (SSP1-3) et une variante sur le scénario SSP2 (le scénario de déclin de la productivité SSP2) pour estimer l'ordre de grandeur des changements mondiaux dans l'utilisation et la condition des terres jusqu'en 2050 pour différentes trajectoires de développement sociétal.

Tableau 6.1 : Hypothèses intégrées dans les trois scénarios SSP.

	SSP1 Développement durable	SSP2 Scénario intermédiaire	SSP3 Fragmentation
Mondialisation du commerce	Élevée	Moyenne	Faible
Consommation de viande	Faible	Moyenne	Élevée
Réglementation des changements d'utilisation des terres	Stricte	Modérée	Faible
Amélioration des rendements agricoles	Élevée	Moyenne	Faible
Efficacité du système d'élevage	Élevée	Moyenne	Faible

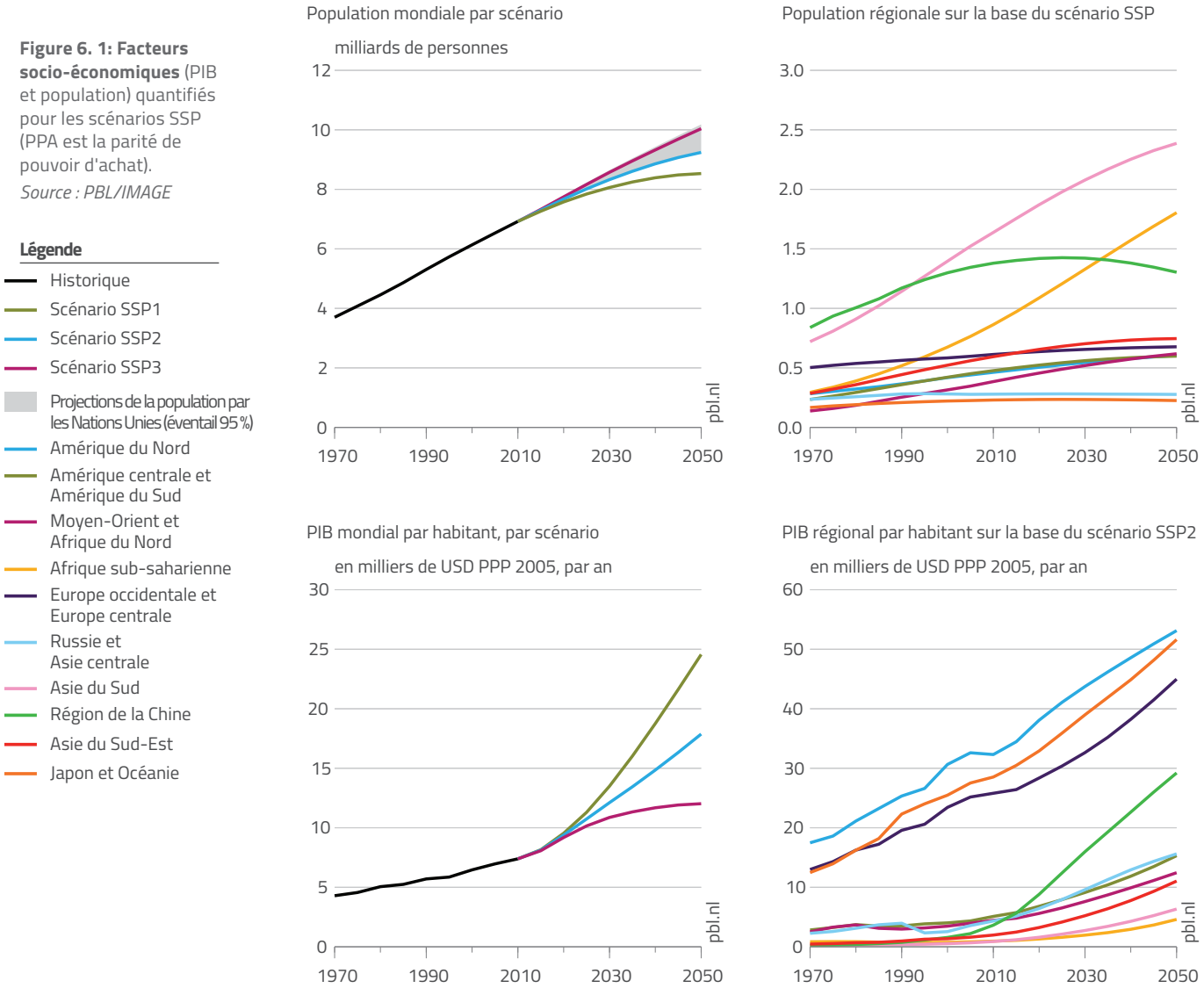
Ces scénarios quantitatifs intègrent un ensemble d'hypothèses cohérentes au sein d'une histoire cohérente. Le scénario « intermédiaire » (SSP2) se caractérise par la poursuite des tendances actuelles ; le scénario « Développement durable » (SSP1) représente un monde plus équitable et prospère qui vise le développement durable ; et le scénario « Fragmentation » (SSP3) représente un monde divisé avec un faible développement économique, une forte croissance démographique et des préoccupations environnementales limitées.

Afin d'explorer l'impact des changements sur l'état du sol, une variante du scénario SSP2 a été créée. Le scénario « déclin de la productivité SSP2 » comprend, en plus de SPP2, l'impact d'une diminution de la productivité, de la couverture terrestre et/ou de la qualité du sol due à une mauvaise gestion des terres. Il suppose la poursuite du déclin net de la productivité primaire entre 1982-2010, tel qu'observé par les techniques de télédétection et corrigé pour les effets climatiques, jusqu'en 2050. Afin de discerner l'ampleur des changements de l'état du sol dus à une mauvaise gestion des terres plutôt qu'à celle du changement climatique, les données ont été corrigées pour les effets du changement climatique au cours de la même période.

Alors que tous les scénarios sont des futurs potentiels, leurs histoires diffèrent largement. Cela aide à explorer la gamme potentielle de développements futurs en termes d'utilisation, de demande et de condition des terres. Ces gammes donnent aux décideurs une fourchette suffisante dans laquelle ils peuvent s'attendre à ce que des changements se produisent et à ce que des défis se concrétisent. Le tableau 6.1 présente les principales différences dans les hypothèses faites pour chacun des trois scénarios SSP. Ces scénarios sont élaborés avec le modèle IMAGE,[5] en appliquant des projections quantitatives pour les populations,[6] l'urbanisation[7] et le développement économique[8] et en quantifiant les paramètres du modèle afin de refléter les récits décrits ci-dessus. Les résultats des scénarios couvrent le système énergétique, la production alimentaire, l'utilisation des terres, les émissions de gaz à effet de serre, les changements climatiques, la biodiversité et les impacts sur les propriétés de l'eau et du sol. En évaluant les tendances de la biodiversité, des propriétés des sols et des systèmes hydrologiques, les changements de l'utilisation des terres et les changements climatiques sont des facteurs importants pris en compte dans la modélisation. Pour les habitudes d'utilisation des terres et le système agro-économique, les impacts du changement climatique ne sont pas inclus en raison des grandes incertitudes et de la conception expérimentale.[9] Les modifications des propriétés du sol, de la biodiversité et des systèmes hydrologiques sont élaborés respectivement avec le modèle S-World,[10,11] le modèle GLOBIO[12] et le modèle PCR GLOB WB[13,14] .

Les trajectoires socio-économiques communes (SSP) décrivent des tendances alternatives plausibles dans l'évolution de la société et des systèmes naturels au cours du 21e siècle au niveau du monde et des grandes régions mondiales. Elles se composent de deux éléments : un récit narratif et un ensemble de mesures quantifiées du développement.

Figure 6. 1: Facteurs socio-économiques (PIB et population) quantifiés pour les scénarios SSP (PPA est la parité de pouvoir d'achat).
Source : PBL/IMAGE



Croissance démographique et économique

Dans les trois scénarios, les modèles de croissance démographique passée se poursuivront jusqu'en 2050, mais à des vitesses différentes (Figure 6.1). La croissance démographique mondiale devrait commencer à se stabiliser dans SSP2. La population mondiale atteindra environ 9 milliards de personnes en 2050, mais elle continuera à croître rapidement en Afrique subsaharienne, la population ayant doublé en 40 ans ; des taux de croissance élevés sont également prévus pour l'Afrique du Nord, le Moyen-Orient et l'Asie du Sud. D'autres régions montrent des signes clairs de nivellement voire de déclin démographique. Dans SSP1, la croissance démographique est plus lente, atteignant environ 8 milliards en 2050, principalement en raison de la baisse des taux de croissance en Afrique subsaharienne, en Asie du Sud et du Sud-Est. Dans SSP3, la croissance démographique continuera à son rythme actuel et atteindra plus de 10 milliards en 2050, principalement en raison des taux de croissance plus élevés dans toutes les régions, mais surtout en Afrique subsaharienne, en Asie du Sud et du Sud-Est.

La croissance économique suit les tendances historiques dans SSP2, elle est supposée supérieure aux tendances historiques dans SSP1 et inférieure aux tendances historiques dans SSP3, en particulier dans les régions moins développées. En conséquence, les tendances de croissance démographique et économique se compensent en partie dans SSP3 par rapport à la demande alimentaire, en raison d'une population plus importante mais moins riche. Dans SSP1, malgré des revenus plus élevés, la population et l'attention aux préoccupations environnementales moins élevées maintiennent la demande alimentaire inférieure aux niveaux de SSP2.

Figure 6.2 : Terres actuellement utilisées (ligne pointillée), en 2050, et potentiel des terres restantes aptes à l'agriculture dans le scénario SSP2.
Source : PBL/IMAGE

Légende

Superficie de terre utilisée en 2050

- Cultures
- Pâturage

Potentiel des terres restantes aptes à pour l'agriculture

- Très élevé
- Élevé
- Modéré
- Faible

- Superficie de terre utilisée en 2010

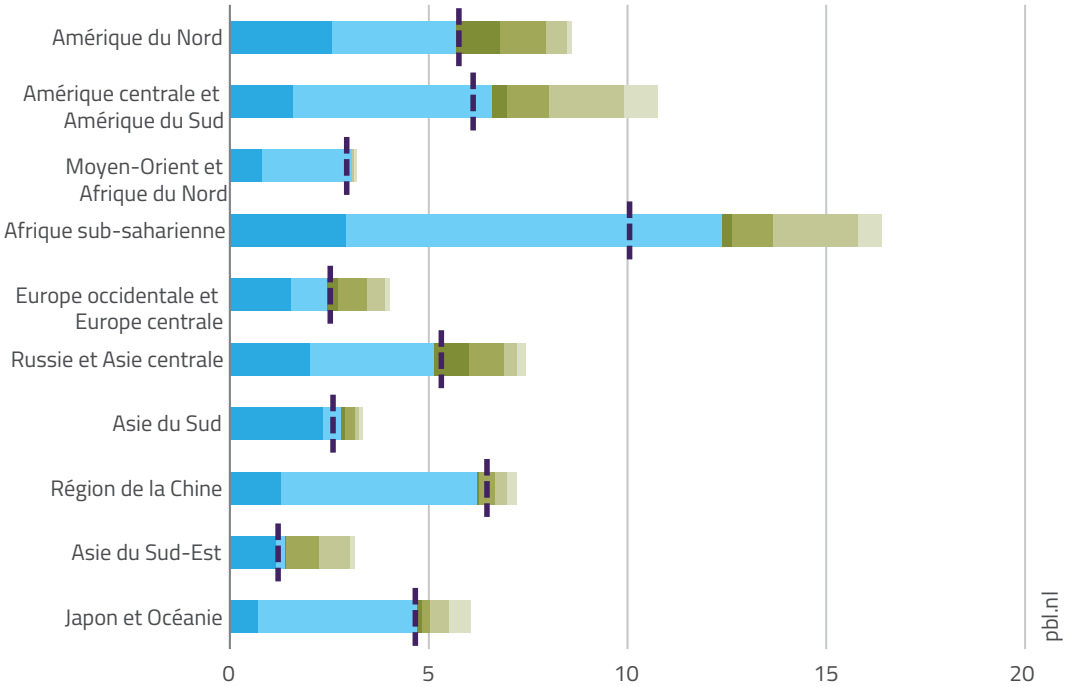
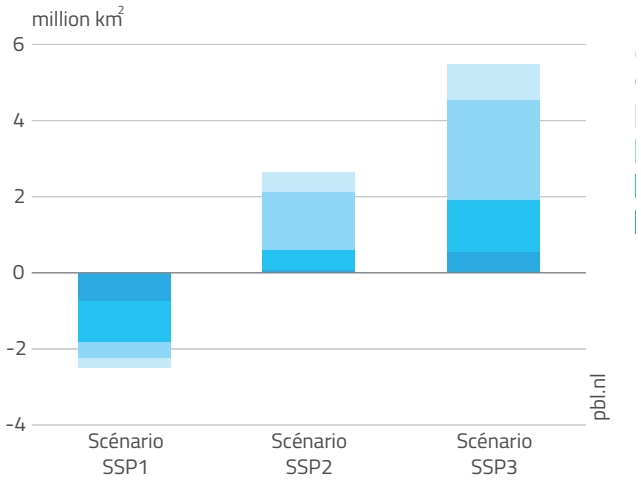


Figure 6.3 : Potentiel de la productivité des terres des zones agricoles nouvellement converties.
Source : PBL/IMAGE

Légende

Classe de productivité des cultures des terres converties

- Faible
- Modérée
- Élevée
- Très élevée



Résultats de l'analyse des scénarios de PBL

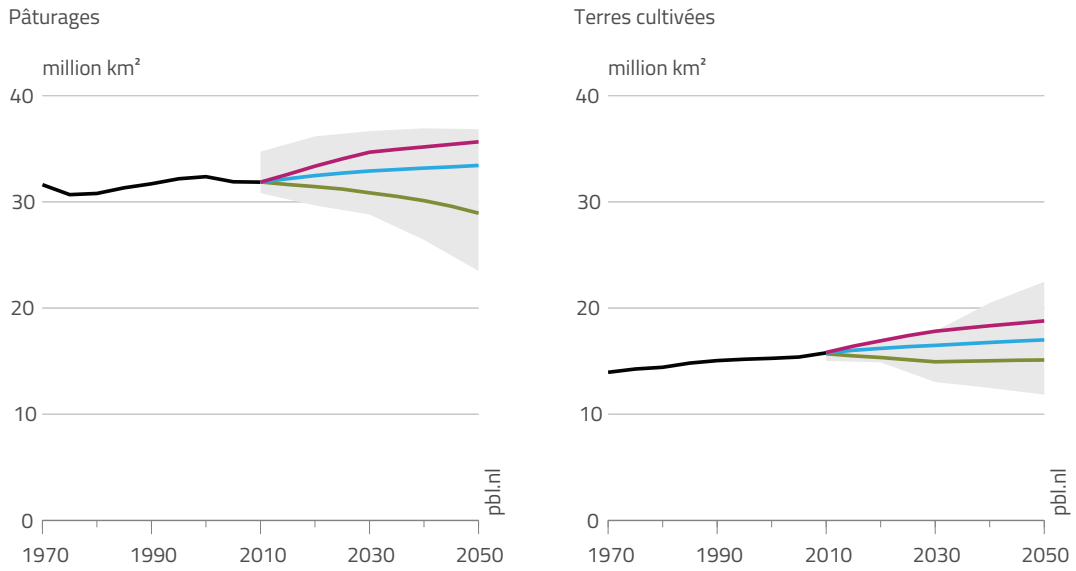
Dans les trois scénarios, la demande de biens et de services terrestres continuera à croître rapidement dans les prochaines décennies.[15] Cela comprend les produits agricoles (aliments et fourrage), les fibres (coton et bois pour la construction et le papier) et le carburant (bois d'alimentation, biomasse, biocarburants liquides). En plus de la demande de produits issus de l'exploitation des terres, les villes, les villages et les infrastructures sont construits sur celles-ci et la conservation des forêts et d'autres zones naturelles pour la biodiversité, les services écosystémiques et l'atténuation et l'adaptation au climat nécessitent tous ces terre.

Dans l'ensemble, les résultats des scénarios sont robustes car les liens généraux entre la nourriture, le fourrage et l'utilisation des terres qui leur est respective sont bien compris et reposent sur une large base empirique. Les principales incertitudes dans les futures dynamiques d'utilisation des terres sont la variation de la demande pour les produits agricoles et les tendances relatives aux rendements des cultures et aux systèmes de production animale. Tous les modèles mondiaux indiquent pour le scénario intermédiaire SSP2, et plus encore pour le scénario SSP3, que la tendance centenaire à transformer les zones boisées en terres agricoles se poursuivra au moins jusqu'en 2050. Non seulement les forêts seront affectées par les futures demandes d'utilisation des terres de l'agriculture, mais les savanes et les prairies le seront également. En conséquence, nous pouvons nous

Figure 6.4 : Tendances mondiales de l'utilisation des terres pour les SSP (lignes colorées) et la fourchette dans d'autres modèles[16] (zone grise) pour 2010-2050.
Source : PBL/IMAGE

Légende

- Historique
- Scénario SSP1
- Scénario SSP2
- Scénario SSP3
- Plage de modèle IAM pour les scénarios SSP1, SSP2 et SSP3



attendre à une perte continue d'habitats et ses impacts associés sur la biodiversité. Les sections suivantes reflètent les différents chapitres de la deuxième partie du GLO qui présentent plus en détail les éléments de preuve et les problèmes politiques potentiels futurs.

Agriculture

La superficie des terres naturelles restantes aptes à l'agriculture restantes sont limitées, avec une expansion croissante sur des terres plus marginales. Une grande partie des terres potentiellement disponibles pour l'agriculture l'agriculture étant déjà utilisée, pour les cultures et l'élevage, ou pour les zones urbaines, des terres supplémentaires pour l'agriculture doivent être étendues à des zones moins productives (Figure 6.2). L'utilisation de terres moins productives nécessite une plus grande superficie et/ou plus d'intrants pour la même production. En outre, les terres marginales sont souvent plus difficiles à gérer et plus sujettes à la dégradation : elles peuvent être sur des pentes, avoir des sols minces et moins fertiles, être plus difficiles à travailler ou restreintes par des pénuries d'eau ou des facteurs climatiques. Les agriculteurs doivent donc fournir plus d'efforts et d'intrants, en plus d'avoir des conditions moins favorables qu'ailleurs. Dans diverses régions, les petits exploitants sont plus susceptibles d'être poussés dans des zones marginales alors que les grands producteurs maintiennent le contrôle de terres plus fertiles.

Deux des trois scénarios projettent une augmentation de l'utilisation des terres agricoles : on estime qu'environ 50 % (SSP3) et 80 % (SSP2) de cette augmentation aura lieu sur des terres à productivité faible ou modérée (Figure 6.3) . En revanche, dans le scénario SSP1, la superficie agricole nette mondiale diminuera en raison de la combinaison d'une faible croissance démographique, d'une plus grande attention à la consommation et à la production durable (ex. réduction de la consommation de viande et des déchets alimentaires) et d'une efficacité accrue des systèmes de culture et d'élevage. En Europe et en Russie, représentant une grande partie des terres les plus fertiles du monde, même des terres très productives seront confrontées à un changement d'utilisation ou à l'abandon. Du point de vue de l'efficacité mondiale de l'utilisation des terres, un plus grand commerce de produits issus de l'exploitation des terres aiderait à allouer la production aux régions selon leur avantage comparatif. Pourtant, il existe de nombreuses autres préoccupations, telles que l'autosuffisance alimentaire nationale et le coût du transport et les émissions de CO_2 dues au transport longue distance.

Le changement mondial de l'utilisation des terres devrait continuer dans le scénario SSP2, avec l'expansion des terres cultivées de 15 millions de km² en 2010 d'environ 0,9 million de km² en 2030 et 1,2 million de km² en 2050, avec 1,4 million de km² supplémentaires pour les cultures énergétiques en 2050. La superficie des pâturages (dont celle des prairies pour le bétail) devrait augmenter d'environ 1,6 million de km² d'ici 2050 (Figure 6.4).

Le scénario SSP3 montre des extensions plus importantes pour les terres cultivées, la bioénergie et les pâturages que SSP2, principalement en raison d'un développement technologique lent. Dans le scénario SSP1, une diminution nette de la superficie agricole est projetée dans le monde en raison du faible

Figure 6.5 : Changement dans l'utilisation des terres et zones naturelles, à l'échelle mondiale (gauche) et régionale (à droite)

Source : PBL/IMAGE

Légende

- Autres terres naturelles
- Forêt
- Pâturage
- Cultures énergétiques
- Aliments et cultures vivrières
- Agglomération
- Plage entre les scénarios SSP1 et SSP3

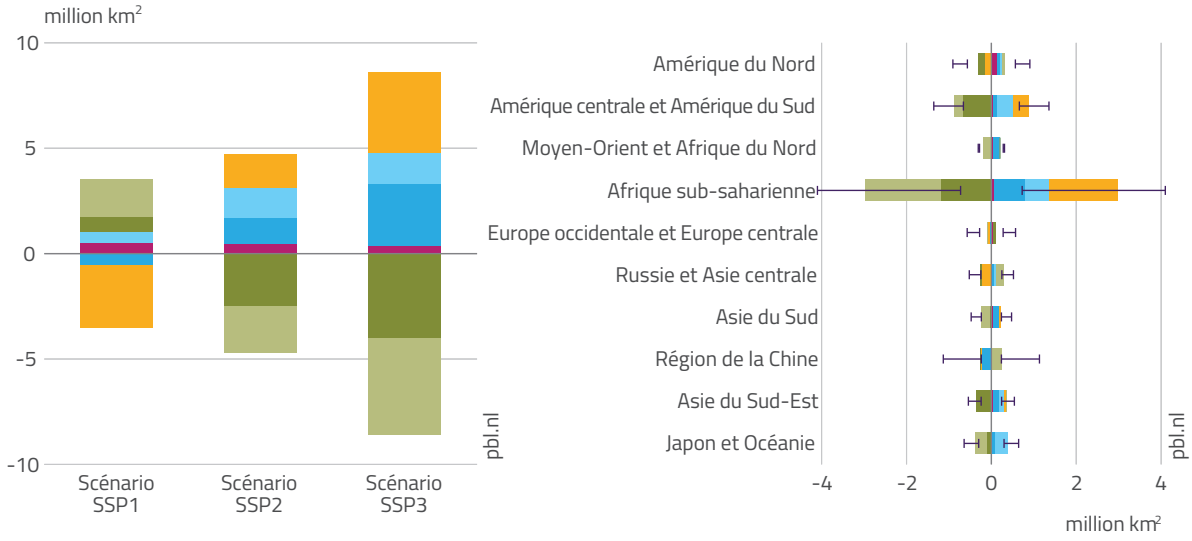


Figure 6.6 : Changement d'utilisation des terres au cours de la période 2010-2050 : vert indique l'expansion des zones naturelles ; violet indique l'expansion des terres agricoles/agglomérations.

Source : PBL/IMAGE

Légende

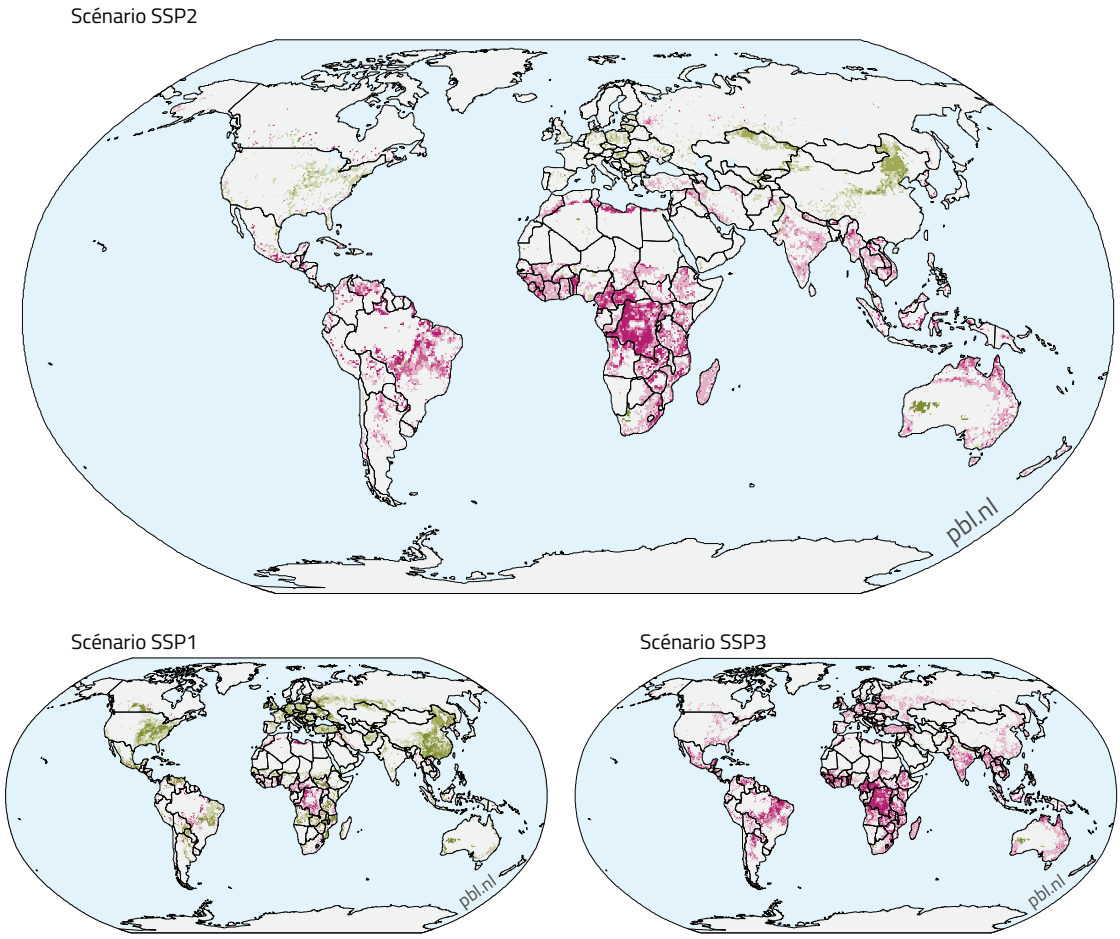
Déforestation et conversion d'autres terres naturelles (% de changement par cellule de grille)

5 30 50 100

Reboisement et abandon de terres agricoles en terres naturelles (% de changement par cellule de grille)

5 30 50 100

Changement nul ou léger (moins de 5 %)



accroissement démographique, de la consommation et de la production plus durables et de l'efficacité accrue des systèmes de culture et d'élevage, nécessitant moins de terres. L'expansion des terres agricoles est plus importante en Afrique subsaharienne en raison de la forte croissance démographique et de la demande croissante de nourriture et de fourrage, qui ne peut être totalement satisfaite par une augmentation de l'efficacité. Toujours dans SSP1, malgré une baisse nette au niveau mondial, l'utilisation des terres agricoles se développe en Afrique subsaharienne ; dans SSP3, l'expansion est environ 40 % plus élevée que dans SSP2 en raison de l'amélioration lente des récoltes des cultures et de l'efficacité du système d'élevage (Figures 6.5 et 6.6).

Le changement de l'utilisation des terres s'explique par l'augmentation continue de la demande de nourriture, de carburant et de fibres. La demande mondiale entraîne une augmentation de la production agricole et forestière de 27 à 77 % jusqu'en 2050, selon les différents scénarios et en fonction des projections en termes de population et de revenus. Cela correspond à la fourchette citée dans la littérature.[17] Dans les régions en développement, l'augmentation de la production est modérée, car la croissance de la demande se stabilise, mais on s'attend à de fortes augmentations en Afrique subsaharienne (plus de 150 %), en Asie du Sud et en Asie du Sud et en Amérique latine (plus de 70 %), ce qui entraîne un changement de l'utilisation des terres agricoles. Une partie de la demande régionale croissante est également assurée par la production dans d'autres régions et le commerce.

Dans le scénario SSP1, l'augmentation de la demande est beaucoup plus faible dans la plupart des régions, voire constante. Les changements dans la demande alimentaire dans SSP3 sont souvent similaires à SSP2 aux niveaux mondial et régional, car une population plus élevée et une croissance économique plus faible se compensent : SSP3 a une population plus élevée, ce qui entraînerait une plus grande demande, mais aussi un moindre revenu et donc une demande moindre par rapport à SSP2. En entraînant le changement de l'utilisation des terres, l'intensité agricole (cultures et bétail) constitue la différence entre ces deux scénarios. La production de bois reste à des niveaux élevés dans les régions développées dans tous les scénarios et elle montre une certaine augmentation en Amérique latine, en Afrique et en Asie du Sud-Est, souvent due à l'augmentation des plantations forestières.

L'utilisation d'engrais azoté et du phosphore devrait augmenter rapidement dans les pays où l'utilisation est actuellement faible, améliorant l'efficacité de l'utilisation des terres, mais risquant des effets environnementaux négatifs. Une grande partie de la production agricole actuelle axée sur le marché est devenue dépendante des engrais artificiels, les nutriments naturels du sol étant incapables de maintenir les niveaux de rendements actuels dans de nombreuses régions. Dans le scénario SSP2, l'augmentation rapide de la production alimentaire entraînera une augmentation de l'utilisation de l'azote et du phosphore, surtout dans les régions où l'utilisation d'engrais est actuellement faible. Les projections antérieures de scénarios comparables estiment une augmentation de 36 % de l'utilisation mondiale d'engrais azotés et de 44 % de celle du phosphore entre 2005 et 2050, mais avec un quadruplement de l'utilisation des engrais phosphatés en Afrique subsaharienne.[18]

Tous les scénarios SSP montrent une expansion significative de l'agriculture sur les sols tropicaux vulnérables à l'érosion. Les sols sous les forêts tropicales sont généralement pauvres et altérés par les intempéries, ayant une longue histoire de pluies abondantes et de fortes températures qui ont lessivé la plupart des éléments nutritifs. La forte productivité de la végétation naturelle est soutenue par un cycle presque fermé dans lequel la majorité des nutriments se trouve dans la biomasse et dans la couche de matière morte et en décomposition sur le sol de la forêt. La plus grande expansion de terres cultivées est prévue dans le bassin du Congo à la suite d'une forte augmentation de la demande en Afrique subsaharienne, même avec l'hypothèse relativement optimiste d'une augmentation d'environ 200 % de la productivité agricole dans cette région dans le scénario SSP2. Sans des systèmes de gestion des sols soutenus et efficaces, le défrichement de ces terres pour l'agriculture pourrait entraîner une baisse rapide de la production agricole due au manque de nutriments et à l'exposition à l'érosion hydrique.

À l'échelle mondiale, la perte de productivité continue dans des zones particulières peut nécessiter une expansion supplémentaire des terres agricoles à titre de compensation d'ici 2050. Supposer des tendances négatives locales pour la productivité primaire nette en tant que proxy de la baisse de productivité des terres dans les zones cultivées permet une première estimation des terres agricoles supplémentaires nécessaires afin de compenser cette perte. Selon ce scénario de déclin de la productivité SSP2, cela se traduirait par une superficie de terres cultivables de 5 % plus importante d'ici 2050, en plus de l'expansion de 8 % dans le scénario SSP2 qui était basée uniquement sur la croissance de la demande alimentaire. Les régions qui montrent l'expansion supplémentaire la plus importante selon ces hypothèses sont l'Afrique du Nord, le Moyen-Orient, le Russie et l'Asie centrale, l'Afrique subsaharienne, le Japon et l'Océanie.

Ressources en eau

La sécurité hydrique future fait face à une multitude de risques dans une perspective de pénurie. Ces risques se rapportent à la forte augmentation de la demande en eau, aux incertitudes liées à l'épuisement des eaux souterraines non renouvelables, à la réduction de la qualité de l'eau et à l'évolution des précipitations, ainsi qu'à l'évolution de la profondeur du sol, de sa texture et de sa teneur en carbone organique. Avec le déclin de la condition des sols, leur capacité à retenir l'eau diminue. La capacité de rétention d'eau est particulièrement pertinente pour la production agricole pluviale dans les zones sèches, où les précipitations peuvent être erratiques et la fonction de tampon des sols pour stocker l'eau est utilisée par les plantes pour survivre à des périodes de sécheresse plus longues. Les faibles rendements dans les systèmes des zones sèches sont souvent attribués à une évaporation excessive de l'eau à partir de la surface du sol, où des quantités plus élevées de paillis organique peuvent, bien que cela ne soit pas possible dans toutes les situations, améliorer l'infiltration et le stockage de l'eau, augmentant ainsi la productivité.[19] Lorsque plus d'eau peut être stockée dans le sol (par exemple, grâce au paillage), la libération retardée de l'humidité dans les eaux souterraines peut avoir un effet de lissage sur le débit fluvial.

Dans le scénario SSP2, la demande mondiale en eau augmente de 2 056 km³ à 2 445 km³. L'Asie du Sud-Est et l'Afrique subsaharienne montrent la plus forte augmentation de la demande en eau, due en grande partie à la demande de l'industrie et des ménages. La disponibilité de l'eau fait référence à sa disponibilité limitée compte tenu de la demande totale de différents utilisateurs. La pénurie d'eau, maintenant et à l'avenir, est répandue dans des régions densément peuplées comme l'Inde, l'Asie, l'ouest des États-Unis et l'Espagne (Figure 6.7). Ces régions se composent de grandes zones arides et semi-arides. La figure 6.7 montre également les régions qui connaîtront une augmentation de la pénurie d'eau. Entre autres, sur la côte du centre-est de l'Afrique, dans les Grandes Plaines des États-Unis, autour de la Méditerranée et dans certaines parties du bassin du Yangtsé, la pénurie d'eau peut ralentir la croissance économique.

La mesure dans laquelle la pénurie d'eau locale deviendra problématique dépend également du stockage local, du pompage des eaux souterraines des aquifères ou des mesures en amont pour éviter les pénuries en aval. Les scénarios explorés ici ne représentent que les risques et n'incluent pas des mesures potentielles d'atténuation et d'adaptation.

Dans le scénario SSP2, de nombreux bassins fluviaux avec des niveaux de précipitations plus élevés en raison des changements climatiques montrent une augmentation du ruissellement qui est plus importante que prévu seulement en fonction de l'augmentation des précipitations; le changement de couverture terrestre semble réduire la capacité des écosystèmes à amortir les débits d'eau et entraîne donc un taux de ruissellement plus élevé. Les effets

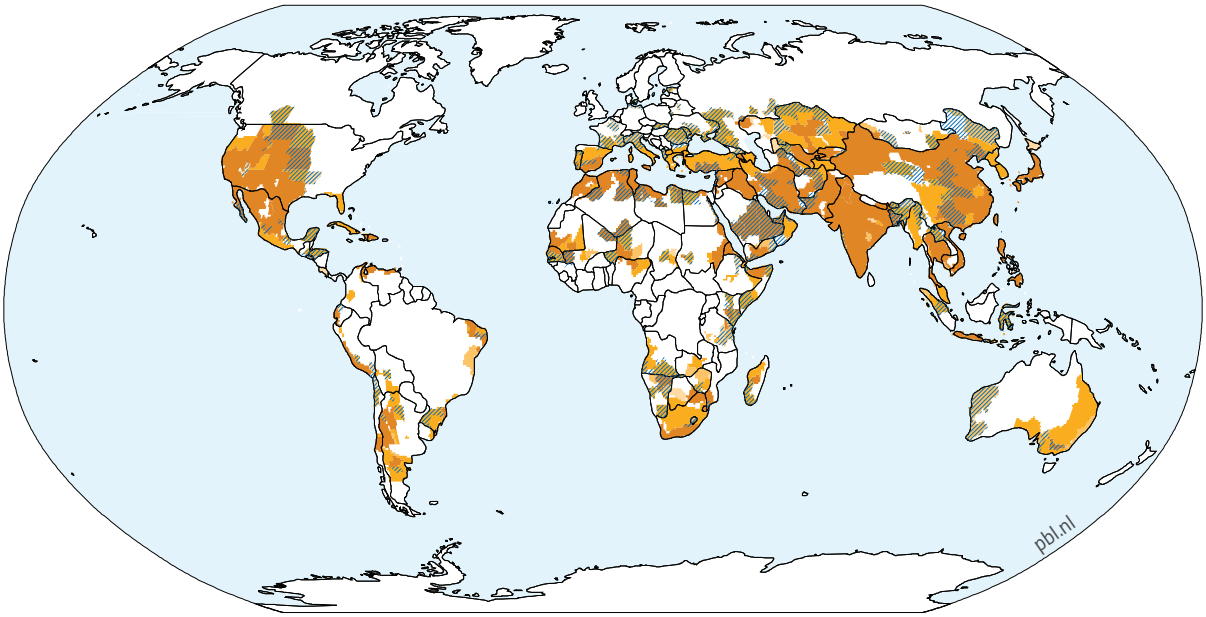


Figure 6.7 : Projections mondiales de la pénurie d'eau dynamique, entre 2010 et 2050, dans le scénario SSP2 : la carte de l'indice de pénurie d'eau dynamique est basée sur un calendrier mensuel et explique la fréquence et la persistance des conditions de pénurie d'eau dans une année**.** *Source : UU*

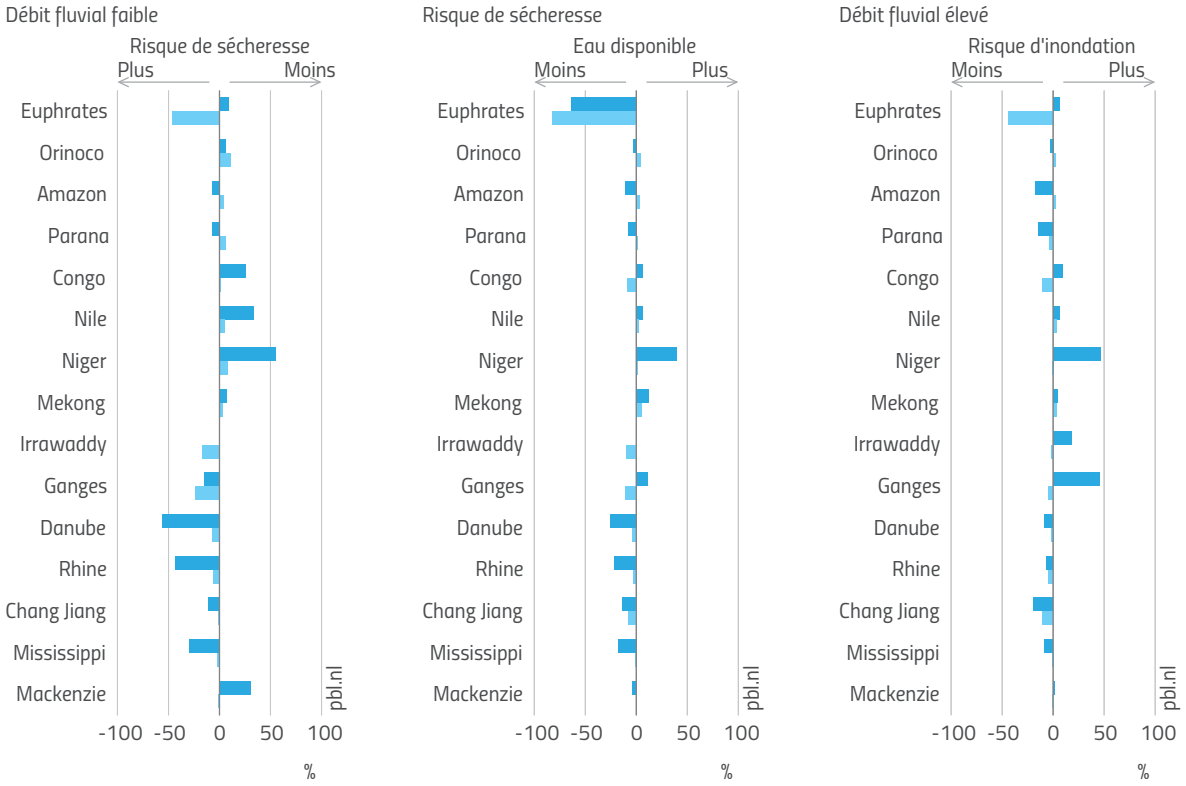
Légende

- Faible (0,1-0,2)
- Modéré (0,2-0,4)
- Élevé (0,4-0,8)
- Très élevé (0,8 ou plus)
- Aucun stress hydrique (moins de 0,1)
- Augmentation projetée du stress hydrique par rapport à 2010

Figure 6.8 : Changements des taux de débit moyen, élevé et faible pour les grands bassins fluviaux entre 2010 et 2050 dans le scénario SSP2 et SSP2 sans changement climatique. Notez que les changements dans les propriétés du sol, comme dans le scénario du déclin de la productivité SSP2, ne sont pas pris en compte dans le scénario SSP2 sans changement climatique (montrant ainsi uniquement l'effet du changement d'utilisation des terres).
Source : UU ; PBL

Légende

- Scénario SSP2
- Scénario SSP2 sans changement climatique



sont amplifiés dans les zones sèches, où, pour de nombreux petits bassins, une légère intensification de l'utilisation des terres peut entraîner une modification importante du ruissellement.

Les changements climatiques et le changement de couverture du sol entraînent des changements de ruissellement qui influencent les volumes de débit fluvial. Selon le débit moyen, les bassins fluviaux peuvent être plus humides ou plus secs. Mais du fait que les débits fluviaux montrent généralement une grande variabilité naturelle, les volumes de débit élevés et faibles plutôt que les niveaux moyens fournissent plus d'informations sur les dangers des inondations et de la sécheresse. La figure 6.8 montre la variation relative des volumes de débit faible, moyen et élevé pour le scénario SSP2, avec et sans changement climatique, pour certains des plus grands bassins fluviaux du monde. Plusieurs développements peuvent s'amplifier ou se modérer et l'étendue varie selon le bassin hydrographique, en fonction de la situation locale. Un changement négatif dans les faibles débits signifie que leurs volumes diminueront, indiquant qu'un bassin hydrographique sera plus sensible à la sécheresse hydrologique. C'est l'inverse pour les débits élevés.

Biodiversité

La perte de biodiversité, mesurée par l'abondance moyenne des espèces (MSA), devrait respectivement passer de 34 % en 2010 à 38, 43 et 46 % dans les scénarios SSP1, 2 et 3 (Figure 6.9). Dans SSP1, le taux de perte est ralenti en arrêtant l'expansion des terres cultivées bien que cela entraîne un impact plus important de la foresterie. C'est un exemple typique de compromis entre les différents développements sectoriels ; la zone forestière doit se développer plus que dans SSP2 et SSP3 afin de compenser l'absence de production de bois provenant des forêts défrichées pour l'expansion des terres cultivées. SSP2 et SSP3 montrent les plus grandes pertes de biodiversité comme un effet cumulatif de l'augmentation des terres cultivées, dont les cultures bio-énergétiques, les infrastructures et l'empiétement des établissements humains, de la foresterie et du changement climatique. Ces scénarios poursuivraient ou accéléreraient même le taux de perte enregistré au 20e siècle. Dans tous les scénarios, la perte de biodiversité continue bien au-delà de 2050 alors que les impacts du changement climatique s'accélèrent dans tous les scénarios.

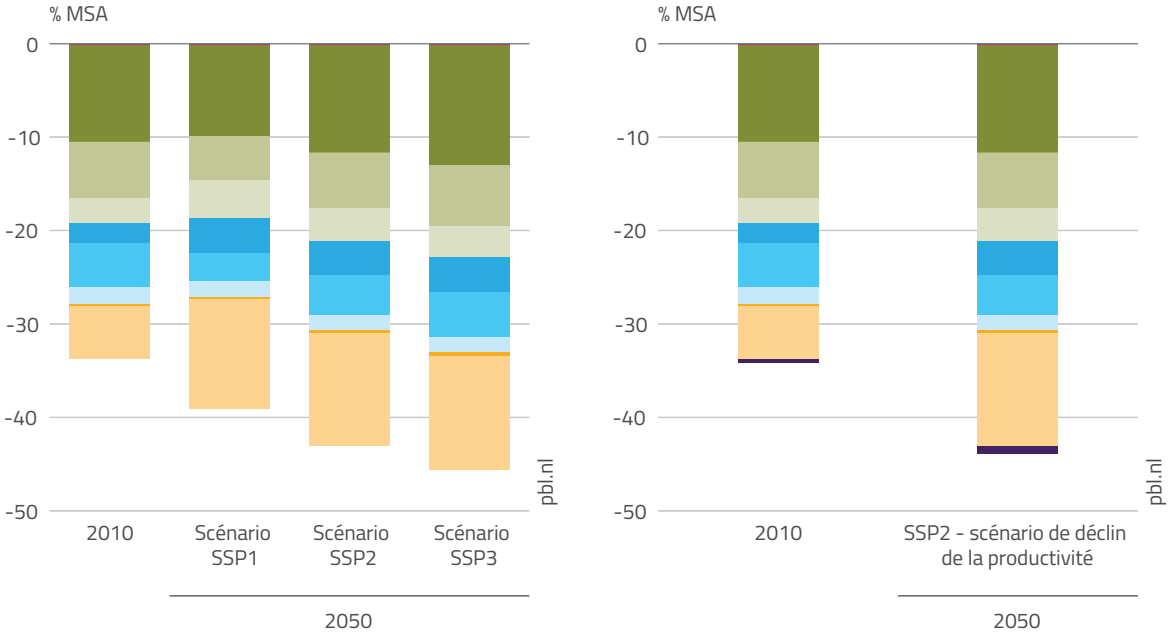


Figure 6.9 : Perte de biodiversité mondiale par rapport à la situation naturelle en 2010 et en 2050 dans les scénarios SSP1, SSP2 et SSP3 (à gauche), et pour 2010 et 2050 dans le scénario du déclin de la productivité SSP2 (à droite).
Source : PBL/IMAGE

Légende

- Urbanisation
- Cultures
- Biocarburants
- Pâturage
- Sylviculture
- Infrastructure
- Empiétement
- Fragmentation
- Dépôt d'azote
- Changement climatique
- Déclin de la productivité

Le scénario de déclin de la productivité SSP2 montre une perte de biodiversité additionnelle d'environ 1 % d'ici 2050 (Figure 6.9). La plus grande part provient de la perte de productivité des terres cultivées, qui entraîne une expansion supplémentaire des terres cultivées afin de compenser la perte. Une partie moindre provient de l'ancienne utilisation des terres, désormais abandonnées et de l'utilisation informelle et extensive des terres, tels que le pâturage extensif ainsi que la collecte de fourrage et de bois. Le point d'un pour cent peut être perçu comme relativement faible, mais en termes absolus, il s'agit d'une quantité considérable. Comme référence, 1 % de la perte de l'abondance moyenne des espèces (MSA) équivaut à une perte totale de biodiversité dans une zone vierge d'environ 2,4 fois la taille de la France métropolitaine.

Sol, végétation et carbone

La perte historique totale de carbone organique du sol liée aux activités humaines, (COS), principalement due à la conversion des écosystèmes naturels en cultures agricoles, a entraîné une perte estimée à 176 Gt de COS, équivalant à 8 % du bassin de COS d'environ 2 200 Gt dans des conditions naturelles.[19,20] Ceci correspond aux estimations dans la littérature.[21,22,23] On estime qu'une grande partie de ces pertes a eu lieu en Europe, dans le sous-continent indien, dans le Sahel, dans la partie sud-est de l'Amérique du Sud et dans une grande partie de la Chine (Figure 6.10, au milieu).

Dans le scénario de déclin de la productivité SSP2, les émissions cumulatives provenant du COS sont estimées à environ 27 Gt C au cours de la période 2010-2050 (Figure 6.11). De ce total, 16 Gt C proviennent de la conversion future des terres naturelles en terres agricoles et 11 Gt C de la baisse continue de la couverture terrestre et de la productivité, qui n'est pas due à la conversion des terres. La plus grande partie de ces pertes à venir est attendue dans les régions de l'hémisphère sud, en particulier l'Afrique subsaharienne (Figure 6.10, en bas). Les sols à productivité moyenne et faible, souvent à faible teneur en carbone, peuvent perdre une part relativement élevée de leur bassin de carbone total (déjà réduit) dans un court laps de temps lorsqu'ils sont transformés en terres cultivées.

On estime que le drainage continu des sols tourbeux et les incendies de tourbières subséquents contribueront de manière cumulative à des émissions d'environ 9 Gt C (± 2) entre 2010 et 2050. Cette quantité est basée sur les projections des émissions en Asie du Sud-Est[24] et l'extrapolation des émissions actuelles en Europe, y compris dans la Russie européenne.[25] Les émissions cumulatives de carbone provenant de la perte de végétation sont estimées à environ 45 Gt C d'ici 2050 ; il s'agit de la perte de biomasse due à l'expansion agricole, à la dégradation des forêts et à la gestion forestière (Figure 6.11). Il s'agit du solde net, en particulier, du boisement dans les régions du Nord et de la déforestation continue dans les régions du Sud.[26]

Les émissions anthropiques terrestres ci-dessus s'élèveront à environ 80 Gt C d'ici 2050, soit environ huit ans d'émissions annuelles de carbone provenant des combustibles fossiles égales à 9,9 Gt C/an[27] (Figure 6.11). Ces estimations n'incluent pas les répercussions des changements climatiques (température et précipitations) sur les stocks de COS, ni les impacts de la fertilisation au CO_2 sur les stocks de carbone dans la végétation.

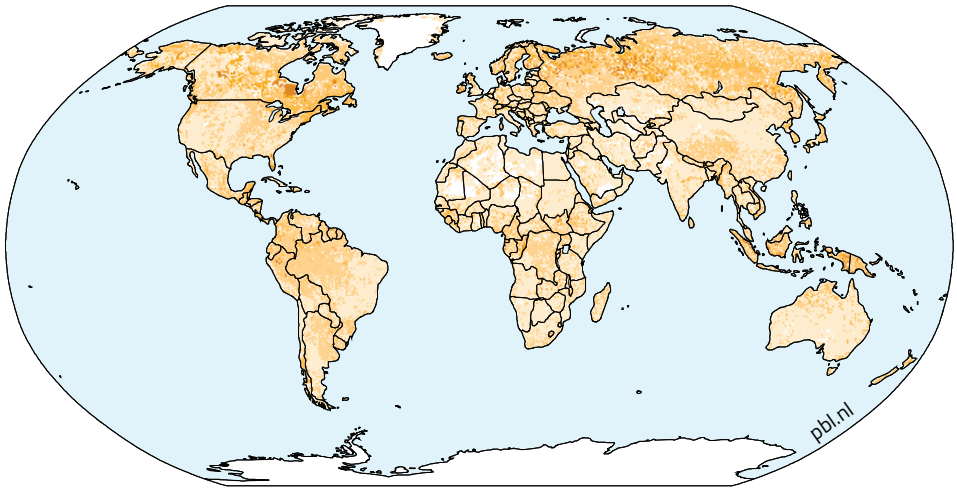
Figure 6.10 : Contenu de COS actuel (en haut) ; perte historique de COS en tant que fraction de COS à l'état naturel (milieu) ; perte future de COS en tant que fraction de l'état actuel dans le scénario de déclin de la productivité SSP2 (en bas).

Source : Stoorvogel et al. 2017 ; Schut et al. 2015 ; PBL

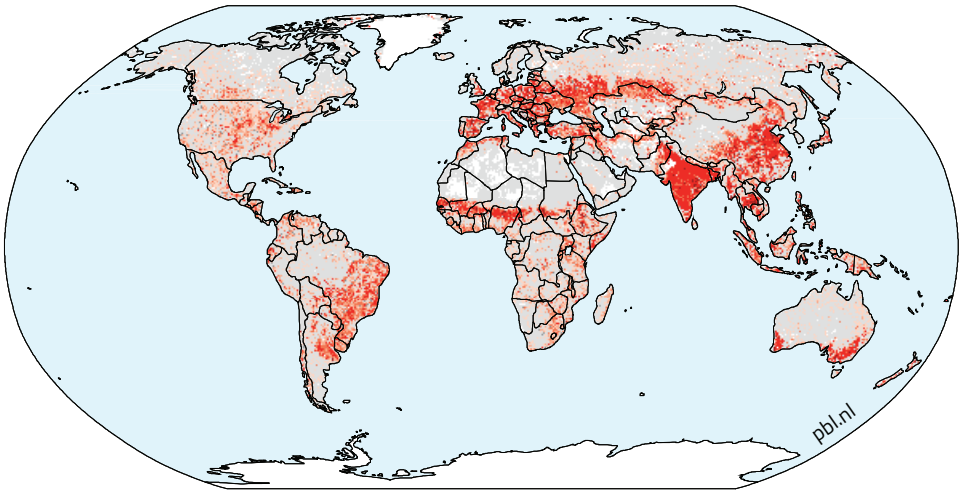
Légende

- Faible (1,5 % ou moins)
- Modéré (1,5-3,0 %)
- Élevé (3,0-5,0 %)
- Humus (5,0-12,0 %)
- Organo-minéral (12,0-35 %)
- Biologique (plus de 35 %)

2010

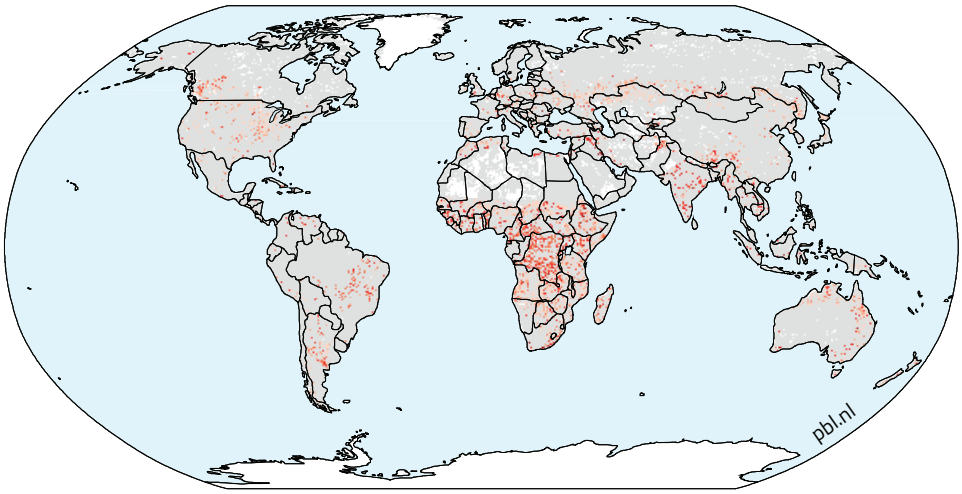


Changement comparé à la situation naturelle, 2010



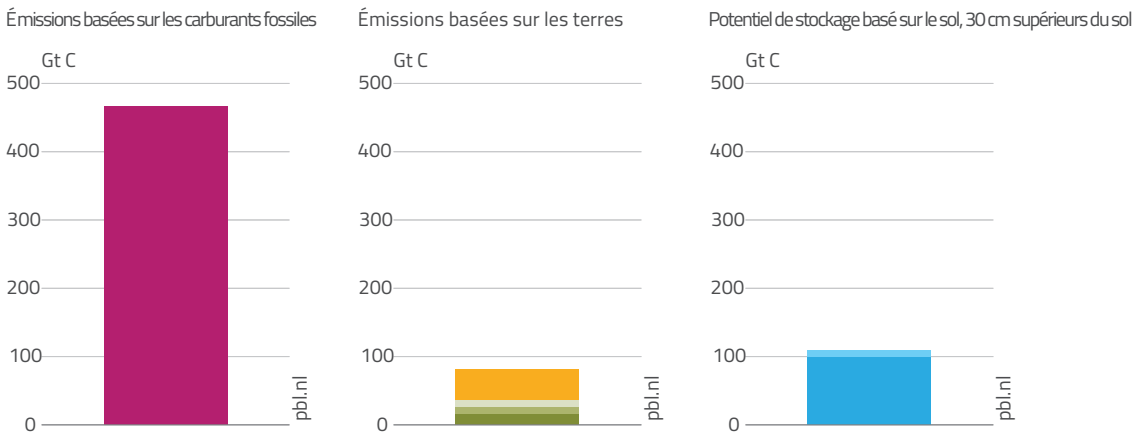
- 50 et plus
- 30-50
- 20-30
- 10-20
- 2-10
- Perte de 2 % - croissance de 2 %
- Plus de 2 % de croissance

Changement sur la base du scénario SSP2 de déclin de la productivité



- Aucune donnée

Figure 6.11 : Émissions cumulatives de carbone provenant des combustibles fossiles du secteur de l'énergie et de l'industrie (à gauche) ; émissions cumulatives de la végétation terrestre (changement d'utilisation des terres) et des sols (milieu) ; potentiel de capture du carbone dans la couverture du sol (< 30 cm) dans les terres agricoles et naturelles (à droite).
Source : PBL



Légende

- Total
- Végétation

Carbone organique du sol

- Tourbières (drainage, combustion)
- Déclin de la productivité
- Changement d'utilisation
- Zone naturelle
- Zone agricole

Étant donné que la plus grande partie de la perte historique de COS provient des 30 cm supérieurs du sol des terres agricoles, le plus grand potentiel de restauration se trouve dans les terres agricoles actuelles. Ce potentiel mondial est considérable, mais nécessite le développement de systèmes agricoles qui combinent des rendements élevés avec des niveaux de COS proches de ceux de la nature (Figure 6.11).

Les futures émissions de carbone terrestre sont relativement faibles par rapport aux émissions provenant des combustibles fossiles (Figure 6.11). Néanmoins, la réduction des émissions terrestres futures et l'utilisation du potentiel de capture du carbone dans les terres agricoles seraient significatives du point de vue de l'atténuation du changement climatique. Les scénarios présentant une probabilité de maintien de la hausse de la température mondiale en-dessous de 1,5-2 °C nécessitent que les futures émissions cumulatives de CO_2 soient limitées à 170-320 Gt C.[28,29,30]

Changement climatique

L'impact du changement climatique sur l'agriculture est susceptible de diminuer les rendements et la disponibilité de terres agricoles aptes dans certaines régions, tout en augmentant les rendements dans d'autres pour des niveaux modérés de réchauffement. Cela entraînera vraisemblablement à la fois des modifications du commerce et l'expansion des zones agricoles, mais le degré d'incertitude concernant l'impact des changements climatiques sur l'utilisation des terres agricoles est très important.[31] L'impact diffère largement entre les régions : alors que certaines régions tempérées sont susceptibles de bénéficier d'une température plus élevée et de périodes de végétation plus longues, des régions comme l'Afrique subsaharienne et l'Inde devraient voir des baisses de rendement en raison d'une limitation accrue de l'eau et, plus important encore, des températures plus élevées.[32]

Les zones sèches sont particulièrement vulnérables. La figure 6.12 montre une carte globale de l'aridité actuelle et des changements futurs dans le scénario SSP2. La hausse de la productivité due à la fertilisation au CO_2 peut compenser certains des effets néfastes, mais la mesure dans laquelle ces avantages peuvent être concrétisés en pratique n'est toujours pas claire. À l'échelle mondiale, les rendements sur les terres agricoles existantes pourraient diminuer de 10 à 15 %, alors que la superficie apte à la mise en culture pourrait augmenter d'environ 10 %, notamment dans l'hémisphère nord. Cela entraînerait un déclin de quelques points de la production mondiale d'ici 2050 par rapport à une situation sans changement climatique, mais l'image est nettement plus diversifiée à l'échelle régionale et modérée par le commerce.

En plus des impacts sur l'adéquation des terres pour la production alimentaire, les changements climatiques affecteront également la disponibilité de l'eau et peuvent donc avoir des conséquences plus larges, tels que les conflits, en particulier dans les zones sèches où de fortes augmentations de population sont attendues et où la pénurie d'eau est déjà une question litigieuse.[33,34,35,36] Enfin, le réchauffement peut également accélérer la décomposition de la matière organique du sol, exercer une pression sur l'état des terres dans les régions déjà chaudes et accroître davantage les émissions de carbone[37] ainsi que la migration des nuisibles et des maladies.

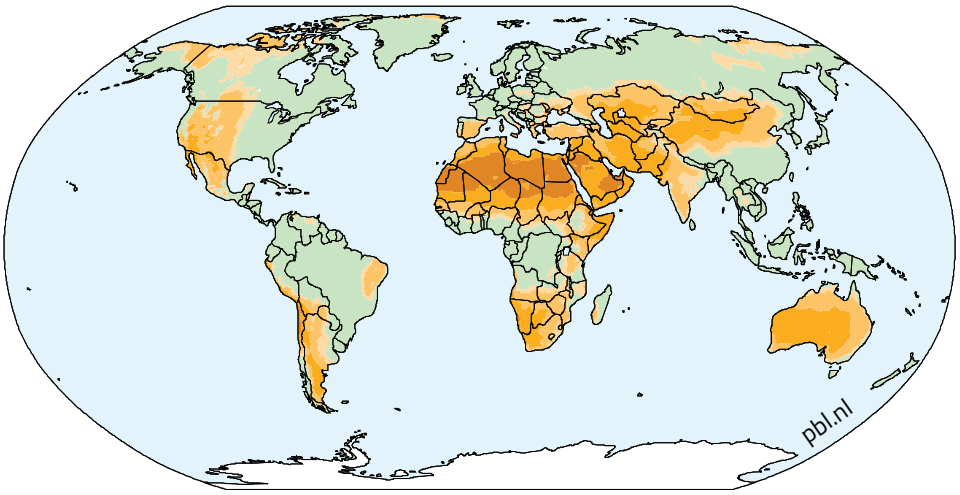
Figure 6.12 : L'indice d'aridité en 2010 et la variation dans le scénario SSP2
Source : PBL/IMAGE

Légende

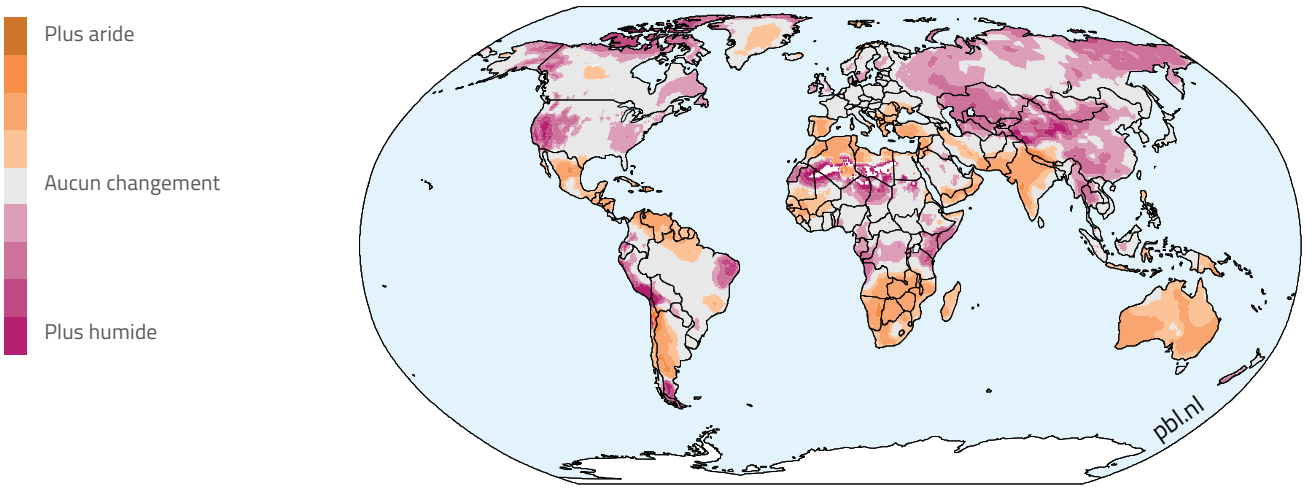
Indice d'aridité

- Hyper aride (< 0,03)
- Aride (0,03-0,2)
- Semi-aride (0,2-0,5)
- Subhumide sec (0,5-0,65)
- Humide (> 0,65)

Indice d'aridité, 2010



Changement de l'aridité sur la base du scénario SSP2, 2010 - 2050



Urbanisation

L'expansion des zones et infrastructures urbaines, bien que faible par rapport à la conversion des terres pour l'agriculture, déplace de plus en plus les terres agricoles fertiles. Le monde devient de plus en plus urbanisé, ce qui affecte directement et indirectement l'utilisation des terres. Les établissements humains se sont développés historiquement dans les zones les plus fertiles et sur les terres accessibles. Leur taille croissante commence à déplacer de manière significative les terres agricoles fertiles. Dans une région de la Chine, plus de 70 % de l'augmentation de terres urbaines a eu lieu sur des terres précédemment cultivées.[38]

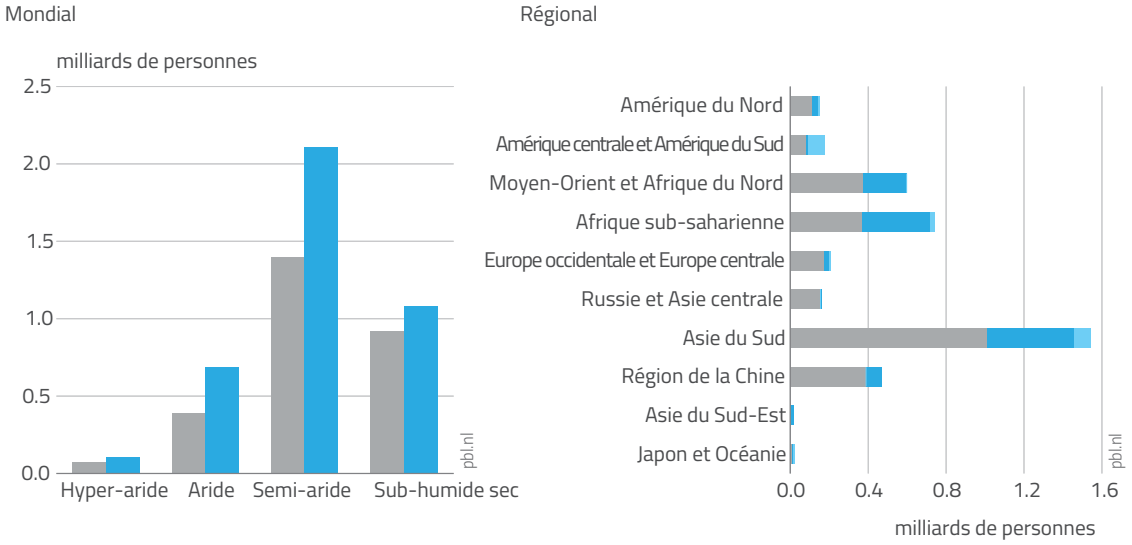
L'expansion urbaine se déroule principalement dans les zones périurbaines, fragmentant et occupant lentement des paysages agricoles et naturels. L'agriculture est souvent déplacée vers d'autres sites, parfois moins productifs. Les populations urbaines sont de plus en plus déconnectées des zones rurales et de la manière dont les aliments et autres ressources issues de la terre sont produits. L'étendue des zones urbanisées devrait augmenter de 0,4 million de km² selon le scénario SSP2. Une grande partie de cette augmentation se produit sur des zones agricoles très productives (voir le chapitre 11), ce qui entraîne le déplacement de l'agriculture vers des régions moins productives et nécessite plus d'espace pour générer la même production. Cette constatation est généralement conforme à d'autres publications, bien que certaines prévoient que la plus grande expansion de la zone urbaine aura lieu dans d'autres régions, comme la Chine.[39]

Figure 6.13 : Population dans les zones sèches par catégorie (à gauche) et par région (à droite) en 2010 et 2050 dans le scénario SSP2.
Source : PBL/IMAGE

Légende

Mondiale
- 2010
- 2050

Régionale
- Population en 2010
- Croissance démographi quedans les zones arides existantes, 2010-2050
- Population dans les nouvelles zones arides 2050



Zones sèches

La population dans les zones sèches devrait augmenter de 43 % d'ici 2050 dans le scénario SSP2, soit une augmentation beaucoup plus importante que le taux de croissance de la population mondiale d'environ 33 %. Dans l'ensemble, la population des zones sèches devrait passer de 2,7 milliards d'habitants en 2010 à 4,0 milliards en 2050 (Figure 6.13).

Dans les zones sèches, l'eau est généralement le facteur limitant pour la croissance des plantes. Avec l'augmentation de la population dans le scénario SSP2, la pénurie d'eau devrait devenir une question encore plus pressante dans beaucoup de ces régions. On prévoit que les plus fortes augmentations de population se produiront dans les zones semi-arides et arides. À l'échelle régionale, l'Asie du Sud devrait voir la plus forte augmentation du nombre de personnes dans les zones sèches, avec plus de 500 millions d'individus, et on estime qu'en Afrique subsaharienne le nombre de personnes vivant dans les zones sèches doublera. Bien que plus petit en termes absolus, un tel doublement est également prévu en Amérique centrale et en Amérique du Sud. Alors qu'en Afrique subsaharienne l'augmentation est principalement due à la croissance démographique, en Amérique centrale et en Amérique du Sud, la principale cause est l'expansion des zones sèches due aux changements climatiques. Par conséquent, bien que de nombreuses régions deviennent un peu plus sèches et que certaines deviennent plus humides, les défis mondiaux dans les zones sèches seront aggravés par les demandes accrues des populations plus nombreuses, plutôt que par les changements climatiques. Cependant, les effets du changement climatique, comme les conditions météorologiques de plus en plus irrégulières, en particulier les sécheresses, affecteront beaucoup plus de personnes dans les zones sèches à l'avenir.

Perspectives régionales

Lorsqu'on examine les changements d'utilisation des terres et des fonctions écosystémiques d'un point de vue régional, l'Afrique subsaharienne, l'Asie du Sud, le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord seront confrontés aux plus grands défis. Ces régions se caractérisent par une combinaison des facteurs suivants : niveau élevé de croissance démographique (surtout dans les zones sèches), faible PIB par habitant, niveaux élevés de sous-alimentation, fortes augmentations du stress hydrique, consommation limitée de protéines, taux d'autosuffisance plus faibles, expansion de la zone agricole, réductions rapides des terres cultivables potentiellement disponibles, faible rendement agricole continu, perte de productivité continue et pertes de biodiversité élevées. Parallèlement, les moyens économiques et institutionnels pour faire face à ces changements sont actuellement limités et, bien que le développement puisse les améliorer à l'avenir, cela pourrait conduire à des problèmes et à des risques de conflits ingérables, et à des migrations de masse à l'intérieur et à l'extérieur de la région.

L'Asie du Sud-Est fait face à de nombreux défis similaires, mais dans une moindre mesure. Cela se caractérise par une augmentation relativement forte de la demande en eau, une faible autosuffisance, une expansion agricole continue, des diminutions supplémentaires de terres cultivables potentiellement disponibles et des pertes de biodiversité élevées. Les régions restantes devront faire face à relativement moins de défis, qui restent toutefois diversifiés, tout en disposant de meilleurs moyens économiques et institutionnels pour contrebalancer à ces changements.

© Mehmet Özdemir

CONCLUSION

Cette analyse des scénarios démontre que dans de nombreuses régions, on peut s'attendre à des changements importants de l'utilisation, de la demande et des caractéristiques des terres dans les décennies à venir, principalement en raison de l'augmentation de la population et de la richesse, entraînant une demande croissante de nourriture, d'une demande accrue en viande et en aliments nécessitant un usage intensif des terres, d'une demande accrue en fibres et en énergie, de l'urbanisation, de l'accélération du changement climatique et du déclin continu au niveau local de la couverture terrestre, de la productivité et du carbone organique des sols.

Ces facteurs influenceront les débits fluviaux élevés et faibles, les pénuries d'eau, l'aridité, les rendements agricoles, l'expansion des terres agricoles, les terres comme source et puits de carbone, et la biodiversité. L'Afrique subsaharienne, le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord, l'Asie du Sud et, dans une moindre mesure, l'Asie du Sud-Est font face à une combinaison alarmante de défis environnementaux et socio-économiques qui accroîtront la pression sur les biens et services fonciers à l'avenir. En conséquence, les impacts multidimensionnels sur la sécurité humaine (voir chapitre 5) peuvent entraîner des problèmes et des risques impossibles à gérer.

Les réponses potentielles (voir la troisième partie) doivent aider à atténuer les pressions sur les terres et à parvenir à un équilibre plus équitable entre les compromis environnementaux et socio-économiques. C'est la somme de nos décisions individuelles, en tant que chefs de famille, consommateurs, producteurs, propriétaires d'entreprises et décideurs, qui aboutit à un échec mondial de la sécurité d'approvisionnement en nourriture, en eau et en énergie pour tous, alors que tout sera fait pour atténuer les changements climatiques et stopper les pertes de biodiversité. Comme pour faire face au changement climatique, une approche qui n'altère en rien nos pratiques courantes est insuffisante pour relever un défi de cette ampleur. De telles réponses doivent aborder la croissance démographique, les niveaux de consommation, les régimes alimentaires, les écarts de rendement pour tous les produits, l'utilisation efficace de l'espace, de l'eau, des matériaux et de l'énergie, la déforestation, les déchets alimentaires, les pertes après récolte, les changements climatiques et la conversion des zones naturelles. La gouvernance des terres à l'échelle locale, nationale et internationale, associée à une planification de l'aménagement du territoire, et des systèmes de gestion des terres pertinents seront essentiels pour faire face à une telle transition.

© Juan Carlos Huayllapuma/CIFOR

RÉFÉRENCES :

1 PBL Netherlands Environmental Assessment Agency (2017). Exploring the impact of changes in land-use and land condition on food, water, climate change mitigation and biodiversity; Scenarios for the UNCCD Global Land Outlook. PBL Report. Den Haag.

2 Van Vuuren, D.P., Kriegler, E., O'Neill, B.C., Ebi, K.L., Riahi, K., et al. 2014. A new scenario framework for climate change research: Scenario matrix architecture. Climatic Change **122** (3): 373-386.

3 Alcamo, J. and Ribeiro, T. 2001. Scenarios as tools for international environmental assessments. Environmental Issues Report number 24. European Environment Agency, Copenhagen.

4 O'Neill, B.C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K.L., Hallegatte, S., et al. 2014. A new scenario framework for climate change research: The concept of shared socioeconomic pathways. Climatic Change **122** (3): 387-400.

5 Stehfest, E., van Vuuren, D., Bouwman, L., and Kram, T. 2014. Integrated assessment of global environmental change with IMAGE 3.0: Model description and policy applications. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.

6 Lutz, W., Butz, W.P., and Samir, K.E. (eds.). 2014. World population and human capital in the twenty-first century. OUP, Oxford.

7 Jiang, L. and O'Neill, B.C. 2015. Global urbanization projections for the Shared Socioeconomic Pathways. Global Environmental Change **42**: 192-199.

8 Dellink, R., Chateau, J., Lanzi, E., and Magné, B. 2015. Long-term economic growth projections in the Shared Socioeconomic Pathways. Global Environmental Change **42**: 200-214.

9 O'Neill, B.C., et al. 2014. Op. cit.

10 Stoorvogel, J.J., Bakkenes, M., Temme, A.J., Batjes, N.H., and Brink, B.J.E. ten. 2017a. S World: A global soil map for environmental modelling. Land Degradation and Development **28**: 22-33.

11 Stoorvogel, J.J., Bakkenes, M., Brink, B.J.E ten, and Temme, A.J. 2017b. To what extent did we change our soils? A global comparison of natural and current conditions. Land Degradation and Development. DOI: 10.1002/ldr.2721.

12 www.globio.info

13 Sutanudjaja, E.H., van Beek, L.P., Wada, Y., Wisser, D., de Graaf, I.E., et al. 2014. Development and validation of PCR-GLOBWB 2.0: A 5 arc min resolution global hydrology and water resources model. Geophysical Research Abstracts **16**: EGU20149993.

14 De Graaf, I.E.M., Sutanudjaja, E.H., van Beek, L.P.H., and Bierkens, M.F.P. 2014. A high resolution global scale groundwater model. Hydrology and Earth System Sciences Discussions **11** (5): 5217-5250.

15 Doelman, J.C., Stehfest, E., Tabeau, A., Van Meijl, H., Lassaletta, L., et al. (forthcoming). Exploring SSP land-use dynamics using the IMAGE model: Regional and gridded scenarios of land-use change and landbased climate change mitigation. Global Environmental Change.

16 Popp, A., Calvin, K., Fujimori, S., Havlik, P., Humpenöder, F., et al. 2017. Land-use futures in the shared socio-economic pathways. Global Environmental Change **42:** 331-345.

17 Ibid.

18 PBL. 2012. Roads from Rio+ 20: Pathways to achieve global sustainability goals by 2050. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague, The Netherlands.

19 Jägermeyr, J., Gerten, D., Schaphoff, S., Heinke, J., Lucht, W., and Rockström, J. 2016. Integrated crop water management might sustainably halve the global food gap. Environmental Research Letters **11 (2):** 025002.

20 The numbers are derived by applying Stoorvogel et al. 2017a and Stoorvogel et al. 2017b in the IMAGE model.

21 Houghton, R.A. 2003. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land-use and land management 1850–2000. Tellus B **55 (2): 378-390.**

22 Levy, P., Friend, A., White, A., and Cannell, M. 2004. The influence of land-use change on global-scale fluxes of carbon from terrestrial ecosystems. Climatic Change **67 (2-3): 185-209.**

23 Kaplan, J.O., Krumhardt, K.M., Ellis, E.C., Ruddiman, W.F., Lemmen, C., and Goldewijk, K.K. 2011. Holocene carbon emissions as a result of anthropogenic land cover change. The Holocene **21** (5): 775-791.

24 Hooijer, A., Page, S., Canadell, J.G., Silvius, M., Kwadijk, J., et al. 2010. Current and future CO2 emissions from drained peatlands in Southeast Asia. Biogeosciences 7: 1505-1514.

25 Drösler, M., Freibauer, A., Christensen, T.R., and Friborg, T. 2008. Observations and status of peatland greenhouse gas emissions in Europe. In: Dolman, A.J., Valentini, R., and Freibauer (eds.) The Continental-Scale Greenhouse Gas Balance of Europe. Springer, New York, pp. 243-261.

26 PBL. 2017. Op. cit.

27 Olivier, J.G.J., Janssens-Maenhout, G., Muntean, M., and Peters, J.A.H.W. 2015. Trends in global CO2 emissions: 2013/2014/2015 Report: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency and European Commission Joint Research Centre, The Hague and Ispra, Italy.

28 Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Climate Change 2014. Mitigation of Climate Change Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Table 6.3, p. 431.

29 See also UNFCCC Paris agreement art. 2 p.: Holding the increase in the global average temperature to well below 2°C above pre-industrial levels and to pursue efforts to limit the temperature increase to 1.5°C above pre-industrial levels. Scenarios with a likely (>66%) probability to keep global temperature change below 2°C should limit future cumulative CO2 emissions to 630-1180 GtCO2 (170-320 Gt C).

30 Rogelj, J., Den Elzen, M., Höhne, N., Fransen, T., Fekete, H., et al. 2016. Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2°C. Nature **534** (7609): 631-639.

31 Nelson, G.C., Valin, H., Sands, R.D., Havlík, P., Ahammad, H., et al. 2014. Climate change effects on agriculture: Economic responses to biophysical shocks. Proceedings of the National Academy of Sciences 111 (9): 3274-3279.

32 Joint Research Centre of the European Commission. 2017. Challenges of Global Agriculture in a Climate Change Context by 2050; Authors: Van Meijl, H., Lotze-Campen, H., Havlik, P., Stehfest, E., Witzke, P., Pérez-Domínguez, I., Levin-Koopman, J., Fellmann, T., and Tabeau, A.; Editors: Pérez-Domínguez, I. and Fellmann, T.; JRC Technical Reports.

33 Burke, M.B., Miguel, E., Satyanath, S., Dykema, J.A., and Lobell, D.B. 2009. Warming increases the risk of civil war in Africa. Proceedings of the National Academy of Sciences 106 (49): 20670-20674.

34 Gleditsch, N.P. 2012. Whither the weather? Climate change and conflict. Journal of Peace Research **49** (1): 3-9.

35 Kelley, C.P., Mohtadi, S., Cane, M.A., Seager, R., and Kushnir, Y. 2015. Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought. Proceedings of the National Academy of Sciences 112 (11): 3241-3246.

36 Van Schaik, L. and Dinnissen, R. 2014. Terra Incognita: Land degradation as underestimated threat amplifier. Clingendael, Netherlands Institute of International Relations, The Hague.

37 Crowther, T., Todd-Brown, K., Rowe, C., Wieder, W., Carey, J., et al. 2016. Quantifying global soil carbon losses in response to warming. Nature **540** (7631): 104-108.

38 Hao, P., Sliuzas, R., and Geertman, S. 2011. The development and redevelopment of urban villages in Shenzhen. Habitat International 35 (2): 214-224.

39 d'Amour, C.B., Reitsma, F., Baiocchi, G., Barthel, S., Güneralp, B., et al. 2016. Future urban land expansion and implications for global croplands. Proceedings of the National Academy of Sciences 201606036.