

# Aires protégées résilientes au changement climatique, PARCC Afrique de l'Ouest



## Projections relatives aux changements des services écosystémiques face au changement climatique



FRANCAIS

Andrew Hartley, Richard Jones et Tamara Janes

Met Office Hadley Centre

2015

Le programme des Nations Unies pour l'environnement, Centre de surveillance de la conservation de la nature (UNEP-WCMC) est le centre spécialisé d'évaluation de la biodiversité du programme des Nations Unies pour l'environnement, l'organisation environnementale intergouvernementale la plus importante dans le monde. Le Centre a été en opération depuis plus de 30 ans, alliant recherche et conseils politiques pratiques.



*Projections relatives aux changements des services écosystémiques face au changement climatique*, rédigé par Andrew Hartley, Richard Jones et Tamara Janes, avec le financement du Fonds pour l'environnement mondial (FEM) par le biais du PNUE.

**Droits d'auteur :** 2015. Programme des Nations Unies pour l'environnement.

**Reproduction :** La reproduction de cette publication à des fins éducatives ou non commerciales est autorisée sans permission spéciale, à condition que la reconnaissance de la source soit faite. La réutilisation de toutes les figures est soumise à l'autorisation des détenteurs des droits d'origine. Aucune utilisation de cette publication ne peut être effectuée pour la vente ou toute autre fin commerciale, sans la permission écrite du PNUE. Les demandes d'autorisation, accompagnées d'une déclaration de l'intention et de l'étendue de la reproduction, doivent être envoyées au Directeur, UNEP-WCMC, 219 Huntingdon Road, Cambridge, CB3 0DL, Royaume-Uni.

**Non responsabilité :** Le contenu de ce rapport ne reflète pas nécessairement les vues ou la politique du PNUE, des organisations participantes ou des éditeurs. Les appellations employées et la présentation des documents dans ce rapport n'impliquent pas l'expression d'une opinion quelconque de la part du PNUE ou des organisations participantes, ou des éditeurs concernant le statut juridique des pays, territoires, villes ou leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites ou la désignation de leurs noms, frontières ou limites. La mention d'une entité commerciale ou d'un produit dans cette publication n'implique pas son approbation par le PNUE.

**Citation :** Hartley A., Jones R., and Janes T. 2015 Projections relatives aux changements des services écosystémiques face au changement climatique. *UNEP-WCMC Technical Report*.

**Disponibilité :** UNEP World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC)  
219 Huntingdon Road, Cambridge CB3 0DL, UK  
Tel: +44 1223 277314; Fax: +44 1223 277136  
Email: [protectedareas@unep-wcmc.org](mailto:protectedareas@unep-wcmc.org)  
URL: <http://www.unep-wcmc.org>

Photo de couverture : Ecosystème de savanes arborées dans la réserve des oiseaux de Tanji, Gambie. *Droits d'auteur :* Andrew Hartley

UNEP promotes environmentally sound practices globally and in its own activities. This publication is printed on 100% recycled paper, using vegetable-based inks and other eco-friendly practices. Our distribution policy aims to reduce UNEP's carbon footprint.

## Sommaire

---

RESUME EXECUTIF.....	4
1. INTRODUCTION .....	7
2. METHODOLOGIE.....	8
3. DEPLACEMENTS DES ECOSYSTEMES .....	12
4. PRODUCTIVITE DE LA VEGETATION.....	17
5. STOCKAGE DU CARBONE.....	20
6. RUISSELLEMENT DE SURFACE.....	22
CONCLUSIONS .....	25
BIBLIOGRAPHIE.....	26
ANNEXE 1. CORRELATIONS ENTRE LA PPB ET LES VARIABLES CLIMATIQUES .....	27

## Résumé exécutif

---

Dans ce rapport, nous analysons les impacts futurs cumulés et individuels des changements d'utilisation des terres et du changement climatique sur les services écosystémiques en Afrique de l'Ouest, notamment en termes du stockage du carbone, de l'approvisionnement en eau et de la productivité de la végétation. Nous utilisons un ensemble de projections climatiques régionales développé pour le projet PARCC afin d'exécuter un modèle qui simule les échanges de carbone, d'énergie et d'humidité entre la surface terrestre et l'atmosphère, sur la base de trois différents scénarios relatifs aux changements futurs de l'utilisation des terres. Ces scénarios représentent différents niveaux de perturbations anthropiques de la surface terrestre, et différents niveaux de protection des forêts primaires. Dans le rapport complémentaire sur les projections climatiques régionales en Afrique de l'Ouest, les conclusions du dernier rapport d'évaluation (RE5) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) sont utilisées pour orienter la manière d'interpréter ces résultats. Ils sont à considérer comme étant soit :

- (a) des résultats auxquels nous nous fions car nous avons obtenu une forte concordance entre les modèles ainsi qu'une compréhension physique des raisons pour lesquelles le changement a été anticipé ; soit
- (b) des résultats qui sont plausibles car nous ne pouvons pas les exclure pour leur inexactitude, toutefois nous nous y fions peu car les résultats issus d'autres modèles sont différents mais également plausibles.

Les conclusions clés pour la région sont les suivantes :

- Il est anticipé que le stockage du carbone des forêts augmente sous les effets du changement climatique, toutefois la dégradation des forêts semble limiter cette augmentation.
- D'une manière générale, il est escompté que la productivité de la végétation augmente dans la plupart des régions de l'Afrique de l'Ouest. Les exceptions à ce schéma se situent dans le sud du Nigéria, où les scénarios d'utilisation des terres envisagent un haut niveau d'activités humaines, et dans l'ouest du Sahel, où une alerte de sécheresse (considérée comme plausible mais incertaine) apparaît dans les projections climatiques.
- Dans le centre et l'est de l'Afrique de l'Ouest, il est escompté que les écosystèmes se déplacent vers le nord. Cela correspond notamment à l'augmentation du fractionnement forestier des écosystèmes au Cameroun et en République

centrafricaine, à l'augmentation du fractionnement arbustif dans les prairies de la savane du sud du Tchad et du nord du Nigéria, et à l'augmentation du fractionnement herbeux au bord du désert du Sahara au Tchad et au Niger.

Pour les pays participant au projet PARCC, les conclusions clés sont les suivantes :

### **Tchad**

Il est escompté qu'un déplacement des écosystèmes vers le nord se produise pour la totalité du Tchad. Des accroissements du couvert forestier et arbustif seront notamment observés dans les écosystèmes de savane boisée au sud, liés à des changements de températures et par conséquent à des projections fiables. Les accroissements du couvert végétal (prairies) dans les écosystèmes arides et semi-arides du centre du Tchad au bord du Sahara sont liés aux changements de précipitations et correspondent donc à des projections plausibles mais incertaines. Les hausses de productivité de la végétation dans le centre et le sud du Tchad, qui indiquent une croissance plus forte de la végétation, ainsi que les rendements potentiellement plus importants des cultures sont liés aux changements de températures et de précipitations, ce qui implique à nouveau des projections plausibles mais incertaines. D'une manière similaire, les augmentations du ruissellement de surface, qui suggèrent davantage d'eau disponible pour les écosystèmes et l'agriculture, sont liées aux changements de précipitations et par conséquent à des projections plausibles mais incertaines.

### **Mali**

Dans le sud du Mali, les projections correspondent à une augmentation du fractionnement relatif aux sols nus, qui remplacent la couverture herbeuse, ainsi qu'à une baisse de productivité de la végétation dans les zones arides et semi-arides du pays. Ces résultats sont liés à une projection indiquant la baisse des précipitations dans l'ouest du Sahel, et sont donc plausibles mais incertains. Les projections quant au changement des fractionnements relatifs aux herbages et aux sols nus dans le sud du Mali reflètent une forte sensibilité à la variabilité des précipitations, ce qui est indiqué par la variabilité d'une année à l'autre et par la variabilité d'une décennie à l'autre en termes de couvert végétal.

### **Togo**

Dans le cadre d'un scénario sans perturbations anthropiques vis-à-vis de la végétation naturelle (comme dans les aires protégées), de faibles hausses de productivité de la végétation sont anticipées au Togo, engendrant une augmentation du carbone de la végétation des écosystèmes de

savane boisée. Elles sont liées à des changements de températures et correspondent donc à des projections fiables. Néanmoins, le fait d'inclure les perturbations anthropiques mène à la diminution du carbone de la végétation dans le centre du Togo (niveau de confiance élevé). Une légère augmentation du fractionnement relatif au couvert forestier à larges feuilles dans la majeure partie du Togo est anticipée dans certaines projections de modèles climatiques régionaux, mais pas la totalité, ce qui correspond à des résultats plausibles mais incertains.

### **Sierra Léone**

Il est anticipé que des augmentations du fractionnement relatif au couvert forestier à larges feuilles se produisent dans l'ensemble de la Sierra Léone, bien que les perturbations anthropiques semblent limiter cette hausse (niveau de confiance élevé). Il est également anticipé que la productivité de la végétation augmente à mesure que le couvert forestier à larges feuilles s'accroît et, par conséquent, que le stockage du carbone de la végétation augmente. Ces résultats sont liés à des hausses des températures minimales, du fait que la photosynthèse n'est pas limitée par la disponibilité de l'eau dans cette région, et il s'agit donc d'une projection fiable. Une forte variabilité des projections relatives aux changements en termes de ruissellement de surface est observée, présentant des augmentations vers la fin du siècle en lien avec les changements de précipitations, ce qui correspond à des résultats plausibles mais incertains. Il est important de noter que les estimations concernant les perturbations anthropiques sont très probablement inexactes pour cette région, quoiqu'il existe un scénario illustrant efficacement le temps potentiel nécessaire à ce que les écosystèmes naturels retournent à leur état normal suite aux perturbations. Dans ce scénario, toutes les perturbations anthropiques cessent après 2000, mais le modèle relatif aux écosystèmes anticipe qu'il faudrait attendre jusqu'à 2100 pour que le carbone de la végétation revienne à des niveaux 'naturels'.

### **Gambie**

En Gambie, les projections correspondent à une augmentation du fractionnement relatif aux sols nus, qui remplacent la couverture herbeuse, ainsi qu'à une légère baisse de productivité de la végétation. Ces résultats sont liés à une projection indiquant la baisse des précipitations dans l'ouest du Sahel, et sont donc plausibles mais incertains. Les projections en termes de changement des fractionnements relatifs aux herbages et aux sols nus en Gambie sont également très sensibles à la variabilité des précipitations, ce qui est indiqué par la variabilité d'une année à l'autre et par la variabilité d'une décennie à l'autre en termes de couvert végétal.

## 1. Introduction

---

Les aires protégées fournissent des services écosystémiques qui maintiennent l'équilibre des systèmes naturels et procurent des avantages économiques bien au-delà de leurs frontières (Costanza *et al.*, 1997). Dans de nombreux cas, ces services peuvent avoir un impact direct sur les populations humaines, notamment concernant l'assurance d'une sécurité alimentaire, ou un approvisionnement propre et fiable en eau potable. Dans d'autres cas, les populations humaines pourraient recueillir des avantages indirects, tels que la séquestration du carbone par les forêts, qui restreint le changement climatique mondial futur. L'identification de ces services constitue une étape importante dans la reconnaissance de la valeur des aires protégées, et contribue ainsi à identifier le rôle que ces dernières jouent dans la fourniture de services qui maintiennent les systèmes humains, tels que l'agriculture ou l'eau et l'assainissement.

Toutefois, les paysages et les écosystèmes en Afrique de l'Ouest ont subi de grands changements au cours des dernières décennies (Mayaux *et al.*, 2013). La vitesse à laquelle se produit la déforestation tropicale dans la région témoigne des pressions auxquelles sont confrontés les écosystèmes (p. ex. Lawton *et al.*, 1997). Les estimations les plus récentes quant à la déforestation des zones de forêts tropicales, à partir d'observations satellites, montrent que la vitesse de la déforestation en Afrique de l'Ouest s'est réduite entre 1990 et 2010, mais est toujours sensiblement plus élevée que la moyenne continentale (Mayaux *et al.*, 2013). Entre 1990 et 2000, il était estimé que 1,09 % des forêts tropicales de l'Afrique de l'Ouest étaient annuellement déboisées, par comparaison à un taux continental de 0,33 %. Ce taux a baissé jusqu'à 0,35 % par an entre 2000 et 2010, mais correspond encore à plus du double du taux continental (0,15 %).

Indirectement, la perte des forêts tropicales réduit la quantité de carbone stocké par la terre tout en l'émettant dans l'atmosphère sous la forme de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), ce qui potentiellement accentue davantage le changement climatique mondial (Cox, Betts, Jones, Spall, & Totterdell, 2000). Des impacts directs de la déforestation des zones de forêts tropicales sur les services écosystémiques locaux et régionaux sont toutefois également observés. Le couvert forestier permet à la terre d'intercepter, de recycler, et de retenir les eaux de pluie durant la saison des pluies, tout en diminuant l'impact des fortes précipitations, et en maintenant un approvisionnement propre et régulier en eau durant la saison sèche. Ainsi, le couvert forestier est un bon exemple de service écosystémique, du fait que l'eau qu'il fournit peut avoir de nombreux usages, tels qu'une agriculture irriguée, une eau potable propre pour les populations humaines, ou



des points d'eau pour le bétail et la faune sauvage. Souvent, la valeur des services écosystémiques n'est réalisée qu'une fois que ceux-ci ont été supprimés. Les répercussions peuvent se traduire par des impacts sociétaux, tels qu'une pauvreté accrue ou une menace pour la vie, ou par des impacts économiques, tels qu'une perte de revenus ou une demande accrue de services gouvernementaux. Par exemple, la suppression des forêts sur les versants peut entraîner des glissements de terrain durant la saison des pluies, ce qui constitue une menace pour la vie, le logement et les infrastructures. Un exemple des répercussions économiques liées à la déforestation pourrait correspondre à l'augmentation de l'envasement des réservoirs d'eau potable, ce qui nécessiterait davantage d'investissements attribués à l'extraction des sédiments, ou à une baisse de qualité de l'eau potable, ce qui nécessiterait davantage d'investissements attribués à la purification de l'eau.

Dans ce rapport, nous utiliserons les résultats des 5 simulations de modèles climatiques régionaux (MCR) pour le projet PARCC (Jones, Hartley, McSweeney, Mathison, & Buontempo, 2012), afin d'étudier l'effet des changements futurs du climat sur les écosystèmes et sur certains services qu'ils fournissent. En outre, nous utilisons trois différents scénarios d'utilisation future des terres afin d'illustrer les effets de diverses utilisations des terres par rapport au changement climatique régional. Deux de ces scénarios sont basés sur les projections des changements d'utilisation des terres, utilisées dans le Cinquième rapport d'évaluation (RE5) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), et un troisième scénario est basé sur l'hypothèse de l'absence de perturbations anthropiques historiques ou futures vis-à-vis de la végétation naturelle. En comparant ces scénarios, nous distinguons les impacts de différentes utilisations futures des terres et du changement climatique sur les changements en termes de services écosystémiques.

## 2. Méthodologie

---

Les projections climatiques régionales ont été créées pour le projet PARCC, à partir d'une méthodologie décrite de manière plus approfondie dans Jones *et al.* (2012). Ces simulations génèrent des projections futures quant au changement climatique régional en Afrique de l'Ouest à 50 km de résolution spatiale pour la période de 1950 à 2099, à partir du scénario d'émissions de gaz à effet de serre A1b, qui est un scénario d'émissions de gaz à effet de serre de type 'statu quo'. Nous avons utilisé le Modèle climatique régional (MCR) PRECIS (*Providing REgional Climates for Impacts Studies*) pour réduire l'échelle de 5 différentes simulations du climat mondial à partir d'un ensemble d'incertitudes relatives au modèle climatique mondial (MCM) HadCM3 (Troisième modèle de



prévision climatique du Centre Hadley). Chacun de ces 5 MCM a été choisi pour effectuer le processus de réduction d'échelle du fait qu'ils ont généré des simulations réalistes du climat historique, et qu'ils représentaient l'intégralité des projections futures relatives aux températures et aux précipitations, issues du Quatrième rapport d'évaluation (RE4) du GIEC. Dans le cas de l'Afrique de l'Ouest dans son ensemble, les projections liées aux changements de températures moyennes annuelles varient entre 2,5 et 5,5°C et, en termes de changements de précipitations, les projections varient entre -60 % et +50 %, avant la fin du siècle pour une période de référence de 1971 à 2000, indiquant une incertitude plus forte quant aux projections liées aux changements de précipitations. Une analyse plus détaillée de la manière dont l'ensemble de MCR comportant 5 éléments est comparable aux dernières projections issues du RE5 du GIEC se trouve dans le rapport d'évaluation climatique (Janes, Jones, & Hartley, 2015).

Le modèle *Joint UK Land Environment Simulator* (JULES) a été utilisé pour réaliser des projections des changements relatifs aux services écosystémiques, à partir de l'ensemble des projections liées au changement climatique régional, composé de 5 éléments, et de trois différents scénarios relatifs à l'utilisation des terres. Par le biais de cette approche, il est possible de comparer les effets des incertitudes liées aux simulations climatiques régionales (MCR composé de 5 éléments), et des incertitudes liées au scénario d'utilisation future des terres. JULES est un modèle relatif à la surface terrestre, qui simule les échanges de carbone, de chaleur, d'humidité et de quantité de mouvement entre la surface terrestre et l'atmosphère. Les principales données saisies dans ces simulations JULES correspondent aux données climatiques à des intervalles de temps de 3 heures, aux concentrations de CO<sub>2</sub> qui changent annuellement (issues du scénario d'émissions de gaz à effet de serre A1b), et au changement d'utilisation des terres. Pour un élément donné de l'ensemble de MCR, JULES a été exécuté afin d'établir un équilibre par rapport au climat historique (1950-1970), en se basant sur les concentrations historiques de CO<sub>2</sub> observées pour la même période. Une fois l'équilibre établi quant aux échanges de carbone entre la terre et l'atmosphère, le modèle a été exécuté pour la totalité de la période de 1950 à 2099, à partir d'actualisations des données climatiques toutes les 3 heures, et d'actualisations annuelles des données relatives au CO<sub>2</sub> atmosphérique.

Pour comprendre les effets relatifs des activités humaines (par le biais de l'agriculture ou de la déforestation) par rapport aux changements causés par le climat en termes de caractéristiques végétales, 3 scénarios d'utilisation des terres ont été employés :

- i. MINICAM (RCP4.5). Dans ce scénario, la conservation du carbone existant, stocké dans les forêts, constitue une stratégie d'atténuation du changement

climatique. Les conséquences correspondent à la préservation des forêts existantes, et à l'accroissement de la zone forestière tout au long du XXI<sup>e</sup> siècle.

- ii. AIM (RCP6.0). Dans ce scénario, l'utilisation des terres est considérée comme un facteur de production pour l'agriculture, le bétail, l'exploitation forestière et l'énergie tirée de la biomasse, entraînant la réduction des prairies en faveur des terres cultivées. En Afrique de l'Ouest, les perturbations anthropiques des forêts demeurent en grande partie inchangées.
- iii. Absence de changement quant à l'utilisation des terres. Dans ce cadre, il est supposé qu'il n'existe aucune perturbation anthropique au cours des périodes historique et future. Cette simulation a été exécutée de manière à ce que les changements des services écosystémiques engendrés par le climat puissent être distingués des causes anthropiques. Il s'agit potentiellement du scénario le plus réaliste concernant les écosystèmes des aires protégées, où aucune perturbation anthropique ne s'est produite depuis 1950 et ne s'y produira dans le futur.

Comme l'illustre la figure 1, les scénarios liés à l'utilisation des terres issus de MINICAM et AIM, ont été utilisés pour estimer le fractionnement relatif aux perturbations anthropiques qui correspond à chaque cellule de quadrillage pour la période historique (à partir d'observations), et la période future (à partir des modèles socioéconomiques AIM et MINICAM). Les perturbations anthropiques représentent la mesure du niveau d'influence des activités humaines sur le couvert végétal d'une cellule de quadrillage spécifique. Ces données sont utilisées par JULES pour ajuster les fractionnements relatifs à la végétation naturelle en fonction de la manière dont les activités humaines modifient le paysage. Par exemple, le scénario MINICAM suppose que les perturbations anthropiques au Tchad se poursuivront aux niveaux existants dans un futur éloigné, alors que le scénario AIM suppose qu'elles baisseront de 60-90 % durant la période historique à 30-50 % dans un futur éloigné (figure 1). Ces projections doivent être considérées comme de potentiels résultats futurs qui sont affectés par les décisions mondiales concernant la réduction du changement climatique, et non comme une tentative de prévision des changements dans un lieu particulier, tel qu'une aire protégée.

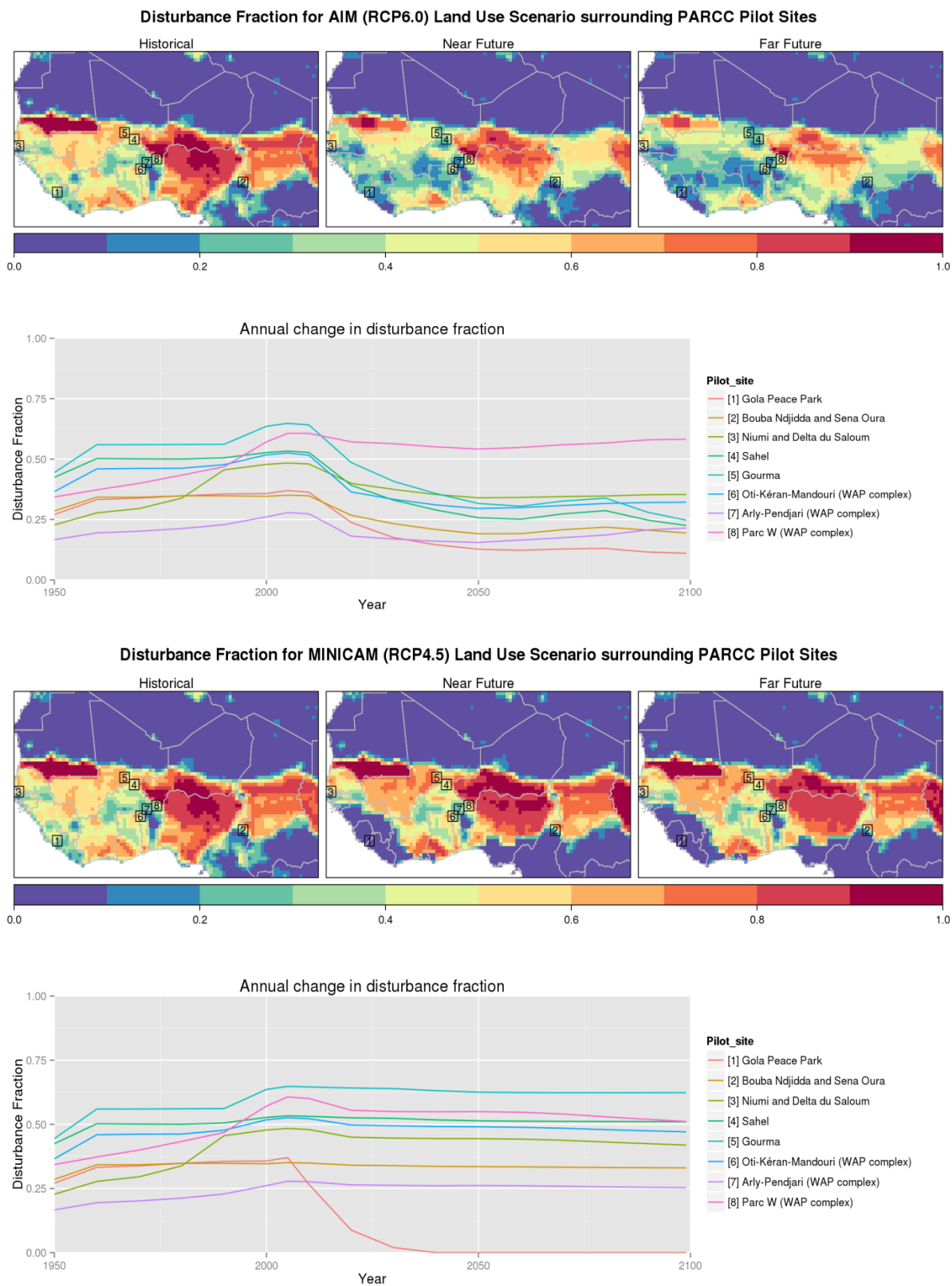


Figure 1. Scénarios relatifs aux changements d'utilisation des terres, utilisés dans ce rapport. Le scénario AIM utilisé dans le RCP 6.0 est illustré dans le cadre du haut, et le scénario MINICAM utilisé dans le RCP 4.5 est illustré dans le cadre du bas. Dans chaque cadre, les cartes montrent les perturbations anthropiques durant les périodes historique (1971-2000), de futur proche (2020-2049) et de futur éloigné (2070-2099), et les graphiques linéaires dessous montrent

**les changements de perturbations anthropiques dans les 8 aires protégées faisant partie des 5 sites pilotes du projet PARCC entre 1950 et 2100.**

### 3. Déplacements des écosystèmes

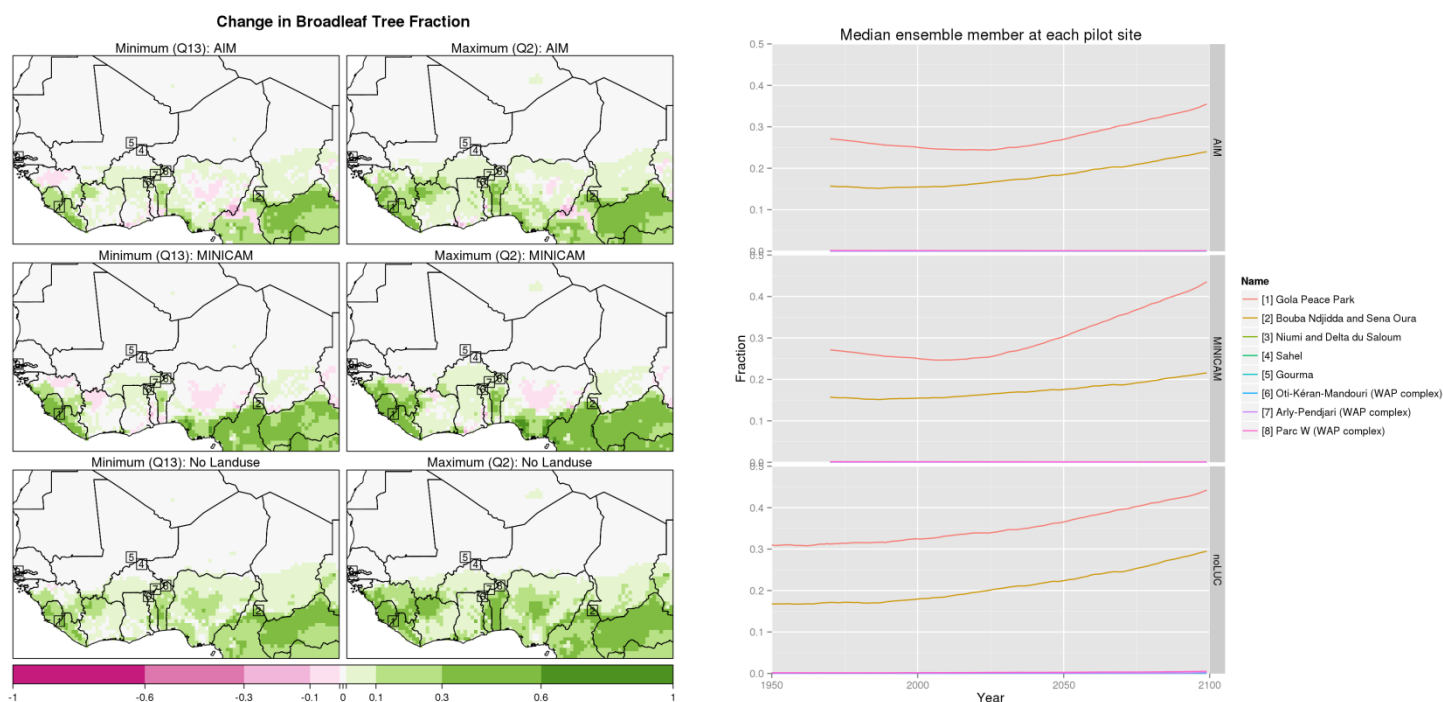
---

Au cours d'une longue période, la répartition des principaux types de végétation est influencée par les conditions climatiques dominantes. Les projections climatiques régionales du projet PARCC montrent un changement des températures moyennes annuelles dans les pays d'Afrique de l'Ouest variant de 2,5 à 5,5°C et un changement des précipitations de -60 % à +50 % avant la fin du siècle, par rapport à une période de référence de 1971 à 2000. Il est escompté que de tels changements aient un impact sur la répartition des espèces et des types d'écosystèmes. Le modèle relatif à la surface terrestre, JULES, utilise les projections du changement climatique régional du projet PARCC (Jones *et al.*, 2012) pour fournir des projections de la manière dont les types de végétation clés pourraient se déplacer en fonction du climat. Ces types de végétation peuvent être utilisés pour donner une indication de la façon dont la végétation existante dans une aire protégée peut changer. Les scénarios relatifs à l'utilisation des terres (figure 1) sont utilisés à partir du RE5 du GIEC pour montrer l'impact de différentes décisions concernant la réduction du changement climatique au niveau régional et mondial.

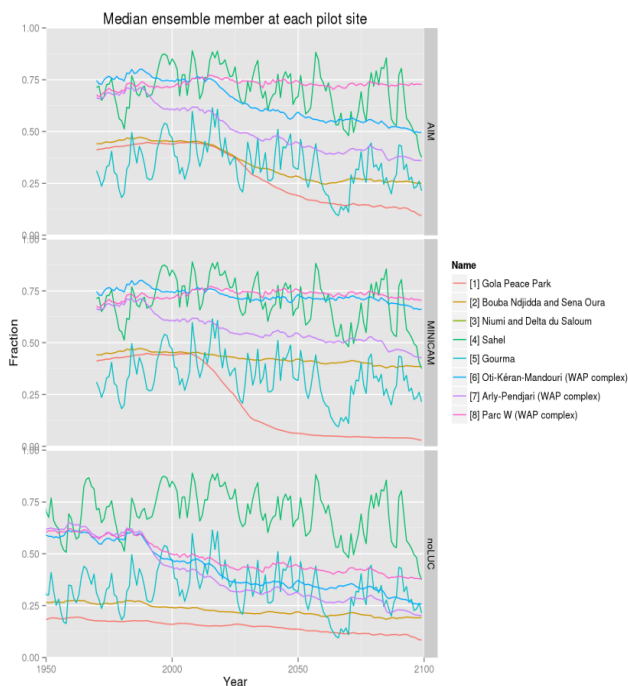
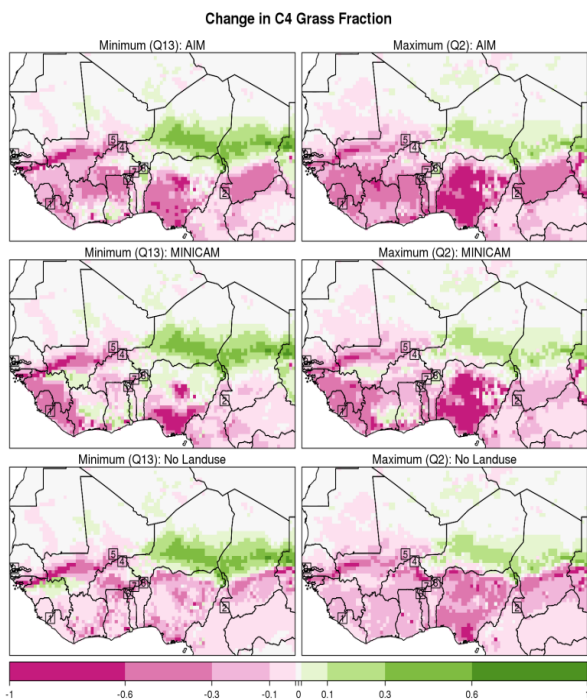
Les graphiques ci-dessous représentent un résumé des changements quant aux fractionnements liés à la végétation et aux sols nus (figures 2 à 5) dans les scénarios relatifs à l'utilisation des terres et l'ensemble climatique. Des résultats ont été obtenus pour chacun des 5 éléments de l'ensemble de MCR, toutefois les éléments de l'ensemble Q2 (changements les plus importants relatifs aux arbres à larges feuilles) et Q13 (changements les plus infirmes relatifs aux arbres à larges feuilles) sont présentés ci-dessous car ils correspondent aux changements les plus extrêmes. D'une manière générale, à travers toute l'Afrique de l'Ouest, il existe une augmentation du fractionnement relatif à la surface terrestre qui est couverte de végétation, engendrée par le climat. Ce cas se manifeste dans les biomes tropicaux où l'on observe un accroissement du couvert fractionnaire forestier (qui remplace les arbustes), dans les régions de savane où l'on observe un accroissement du couvert fractionnaire arbustif (qui remplace les herbages), et dans les zones arides où l'on observe un accroissement de la couverture herbeuse (qui remplace les sols nus). En règle générale, ces changements sont dus à des hausses de concentration du CO<sub>2</sub> atmosphérique (niveau de confiance élevé), de températures (niveau de confiance élevé) et, dans certaines zones de l'Afrique de l'Ouest, à des hausses de précipitations (niveau de confiance faible), ce qui génère des conditions plus favorables à la photosynthèse et à la rétention d'eau dans les

plantes. Les augmentations du fractionnement relatif aux sols nus dans l'ouest du Sahel se retrouvent dans l'ensemble des scénarios liés à l'utilisation des terres, ce qui indique une désertification générée par le climat dans cette sous-région (en lien avec les précipitations, par conséquent niveau de confiance faible).

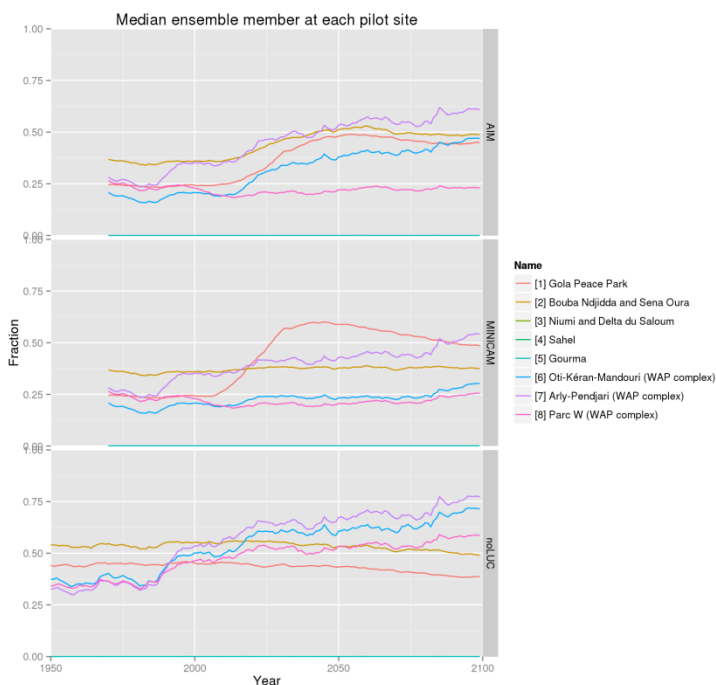
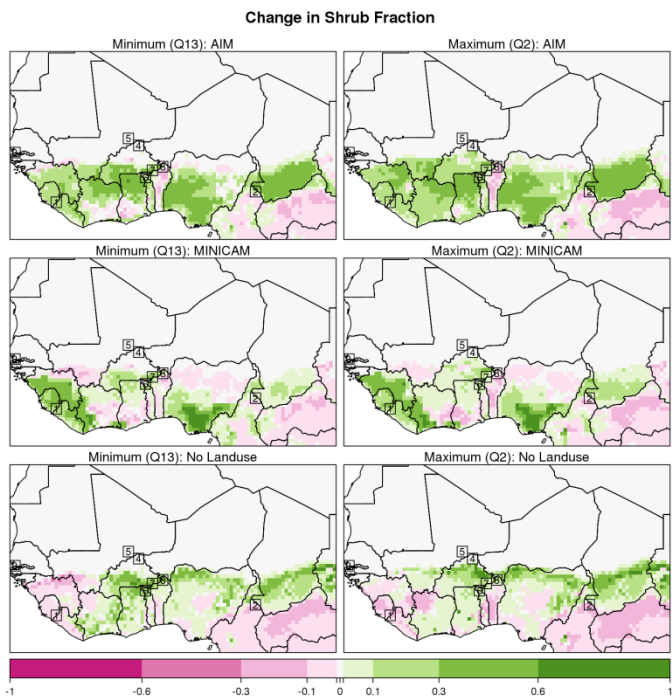
En interprétant les figures 2 à 5, il est important de noter que les types de végétation compris dans JULES correspondent à une simplification de la végétation réelle observée *in situ*. Par conséquent, lors de l'interprétation de ces résultats, l'utilisateur doit replacer les changements décrits ci-dessous dans le contexte de la végétation qui existe actuellement dans ce lieu. Par exemple, la végétation boisée des écosystèmes de savane est définie comme étant un couvert arbustif plutôt qu'un couvert forestier, par conséquent les accroissements du couvert arbustif peuvent être interprétés comme étant des accroissements de la végétation boisée.



**Figure 2. Changements quant au fractionnement anticipé relatif aux arbres à larges feuilles.** La colonne de gauche des cartes montre l'élément de l'ensemble de MCR qui présente le changement fractionnaire minimal relatif au couvert forestier à larges feuilles (Q13), et la colonne de droite des cartes montre l'élément de l'ensemble qui présente le plus grand changement fractionnaire relatif au couvert forestier à larges feuilles. Les trois rangées de cartes présentent les trois différents scénarios d'utilisation des terres : AIM (RCP6.0), MINICAM (RCP4.5), et l'absence d'utilisation des terres. Les graphiques des séries temporelles à droite montrent le couvert fractionnaire moyen annuel anticipé aux 8 sites pilotes. Dans les régions de savane, telles que le complexe WAP et le Sahel-Gourma, la végétation boisée est représentée dans JULES sous la forme de couvert arbustif.



**Figure 3.** Idem que ci-dessus, mais pour la couverture fractionnaire herbeuse C4. C4 décrit l'approche photosynthétique couramment observée pour la couverture herbeuse en Afrique de l'Ouest. Ces plantes ont évolué pour avoir un avantage concurrentiel sur les plantes C3 dans des conditions de sécheresse, de températures élevées, et de restriction d'azote ou de CO<sub>2</sub>. Les cultures telles que le maïs, le millet, le sorgho et la canne à sucre utilisent l'approche photosynthétique C4.



**Figure 4.** Idem que ci-dessus, mais pour le couvert fractionnaire arbustif.

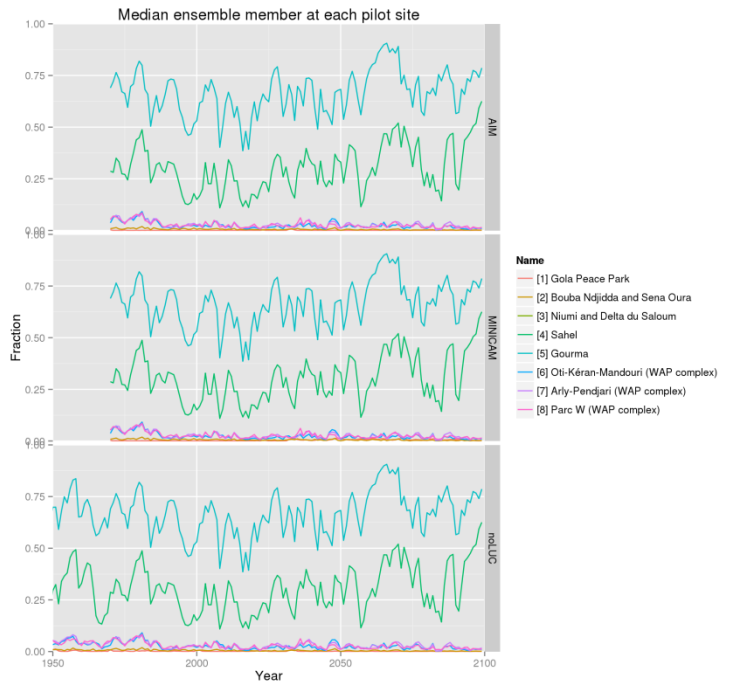
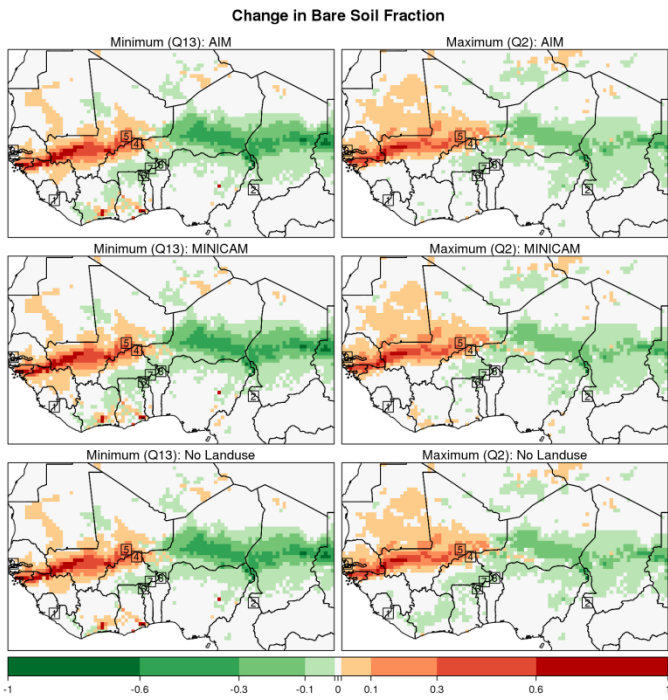


Figure 5. Idem que ci-dessus, mais pour le couvert fractionnaire de sols nus.



Au niveau national, les résultats concernant les déplacements des écosystèmes peuvent être interprétés de la manière suivante :

**Tchad :** Dans la végétation du sud du pays, une réduction du fractionnement relatif aux sols nus est observée, fortement liée aux facteurs climatiques plutôt qu'aux décisions quant à l'utilisation des terres. Elle est manifeste pour tous les éléments de l'ensemble de MCR. Toutefois, les sols nus sont remplacés par différents types de végétation, selon le scénario d'utilisation des terres. Davantage de perturbations anthropiques dans le scénario d'utilisation future des terres MINICAM (les perturbations historiques continuent sans relâche pour 60 à 90 % de la surface terrestre) entraînent un plus grand fractionnement relatif à la couverture herbeuse C4 par opposition au couvert arbustif. Moins de perturbations dans le scénario d'utilisation future des terres AIM (menant à une baisse des perturbations de 30 à 50 % dans un futur éloigné) engendrent un couvert arbustif qui retrouve des niveaux naturels avant 2050. Pour le site pilote du projet PARCC dans le sud du Tchad, le Parc national de Sena Oura, qui est transfrontalier avec le Parc national de Bouba Ndjidda au Cameroun, les scénarios d'utilisation des terres sont similaires à ceux du Tchad dans son ensemble. Du fait que le site se trouve au bord des zones boisées de la savane qui entourent le bassin du Congo, l'alerte climatique (dans le cas d'une absence d'utilisation anthropique des terres) entraîne une augmentation du fractionnement relatif au couvert forestier à larges feuilles, ce qui indique une tendance se traduisant par davantage de savane boisée et fermée dans la région.

**Mali :** Ici, la tendance prédominante dans le centre et le sud du Mali reflète une augmentation du fractionnement relatif aux sols nus, qui remplacent les prairies, liée à des facteurs climatiques plutôt qu'à différents scénarios d'utilisation des terres. Ce résultat est plausible, mais n'a pas été vérifié ; par conséquent, il doit être interprété comme une projection peu fiable du fait qu'il est étroitement lié à une alerte de sécheresse fortement incertaine issue du modèle climatique régional pour l'ouest du Sahel. Le site pilote du projet PARCC à la Réserve partielle du Gourma, qui est transfrontalier avec la Réserve partielle du Sahel au Burkina Faso, se trouve au bord de cette zone. Par conséquent, les projections quant aux réductions de la couverture herbeuse et à l'accroissement du couvert de sols nus sont beaucoup moins nettes. Il existe également une variabilité importante d'une année à l'autre et d'une décennie à l'autre quant aux fractionnements relatifs à la couverture herbeuse et au couvert de sols nus, ce qui témoigne davantage du lien étroit entre la végétation dans cette région et la variabilité ainsi que le changement en termes de précipitations.

**Togo :** Dans le scénario d'absence d'utilisation des terres, l'alerte climatique indique une

faible augmentation du fractionnement relatif au couvert forestier à larges feuilles dans la plupart du pays, ainsi que des réductions de la couverture herbeuse. Toutefois, la poursuite des tendances historiques en termes d'utilisation des terres dans un futur éloigné, dans le cadre du scénario MINICAM, entraîne la diminution des gains en arbres à larges feuilles qui se seraient manifestés sous l'effet du changement climatique. Dans le nord du Togo, et dans l'ensemble du site pilote du projet PARCC, qui comprend le complexe Oti-Kéran-Mandouri et la zone de conservation transfrontalière WAP, il est escompté qu'un accroissement du couvert arbustif remplace la couverture herbeuse. Ce phénomène indiquerait que les conditions climatiques dans un futur éloigné sont plus favorables à la savane boisée qu'à la savane herbeuse.

**Sierra Léone :** Une augmentation du fractionnement relatif au couvert forestier à larges feuilles est anticipée, liée aux hausses des températures minimales moyennes annuelles (voir l'annexe 1). Toutefois, en Sierra Léone, les scénarios d'utilisation des terres utilisés ici ne concordent pas avec les tendances récentes. Ils envisagent soit un arrêt complet des perturbations anthropiques (MINICAM), soit une diminution significative avant 2100 (AIM). Si ces scénarios relatifs à l'utilisation des terres devaient se réaliser, les projections montrent qu'il y aurait une période de repousse, et si la déforestation cessait dans un futur proche (scénario MINICAM) le fractionnement relatif au couvert forestier reviendrait à des niveaux naturels avant 2100.

**Gambie :** La Gambie se trouve au bord d'une région où de fortes augmentations du fractionnement relatif aux sols nus ont été anticipées en lien avec des baisses anticipées des précipitations, bien que le niveau de confiance soit faible (voir la description pour le Mali). Seules de faibles augmentations du fractionnement relatif aux sols nus sont escomptées pour la Gambie (augmentation de 0-10 %), remplaçant la couverture herbeuse. Les projections pour le site pilote du Parc national de Niimi, qui est transfrontalier avec le Parc national du Delta du Saloum au Sénégal, n'ont pas été réalisables en raison de la part littorale importante que comporte le site.

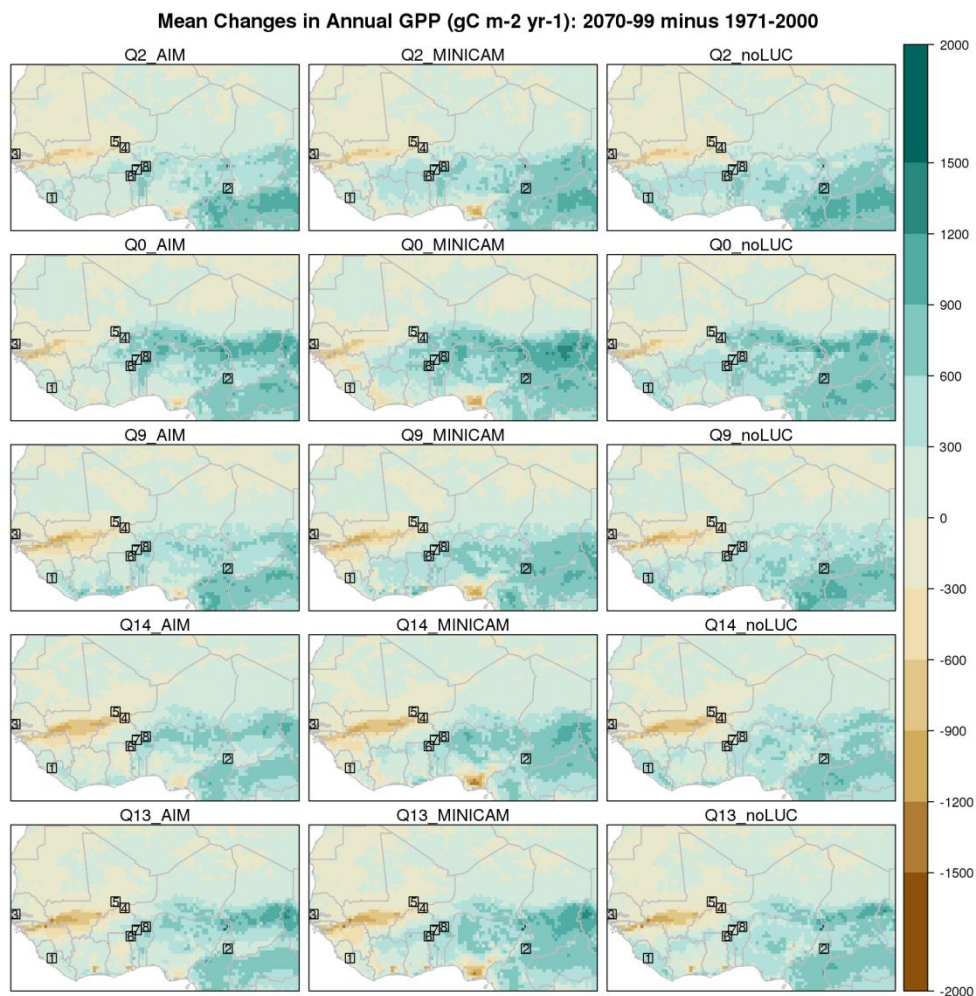
#### 4. Productivité de la végétation

---

La production primaire brute (PPB) est une mesure de la quantité de carbone absorbée par les plantes lorsqu'elles réalisent la photosynthèse. La PPB constitue un indicateur utile car elle peut être directement influencée par le climat, et établit donc un lien entre l'état de la végétation et le climat (voir par exemple l'annexe 1). Lors de la photosynthèse, les plantes absorbent du CO<sub>2</sub>, de la lumière et de l'eau. Le processus produit des sucres à base de carbone qui sont ensuite fixés par la plante soit pour les stocker sous la forme de feuilles, de tiges ou de racines, soit pour les

utiliser sous forme d'énergie pour la respiration. Il s'agit du processus par lequel les plantes stockent le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère. Par conséquent, puisqu'il est anticipé que le CO<sub>2</sub> atmosphérique continue à augmenter au cours du siècle prochain, il est envisageable qu'il amplifie la photosynthèse ainsi que la vitesse de stockage du carbone dans la végétation. L'ampleur de ce phénomène dépend de la physiologie de la plante elle-même, et d'autres facteurs limitants tels que la disponibilité de lumière et d'eau, la température de l'air et du sol, ou la disponibilité de substances nutritives.

À l'échelle régionale, comme prévu, la PPB a tendance à augmenter dans la majeure partie de l'Afrique de l'Ouest, influencée principalement par les facteurs climatiques, contrairement au scénario d'utilisation des terres, comme le montre la troisième colonne des cartes dans la figure 6. Les tendances de la PPB sont fortement liées aux changements de précipitations dans la plupart des écosystèmes de savane de la région, bien que, dans la région de forêts tropicales, la température semble être le motif principal des changements de la PPB (voir les détails dans l'annexe 1). Parmi tous les éléments de l'ensemble de MCR, les plus fortes hausses de la PPB sont observées dans les zones de forêts tropicales, et dans certaines parties du Tchad où se produit un déplacement de la végétation vers le nord. Des baisses de la PPB sont escomptées dans la partie occidentale du Sahel, où l'ensemble de MCR anticipe une alerte climatique très incertaine quant à la baisse des précipitations. En particulier, plusieurs lieux ont été déterminés, où il est anticipé que l'impact de l'utilisation anthropique des terres inverse la tendance positive de la PPB liée au climat. Ces lieux se situent principalement sur le littoral de l'Afrique de l'Ouest, dans le sud du Nigéria, et dans une moindre mesure en Côte d'Ivoire et au Ghana.



**Figure 6. Changements géographiques en termes de PPB annuelle à partir de 5 projections climatiques régionales différentes (rangées) et 3 scénarios différents d'utilisation des terres (colonnes, voir la description dans les légendes de la figure ci-dessus). Les résultats sont présentés pour toutes les simulations afin d'aider la comparaison visuelle des effets respectifs du scénario d'utilisation des terres et des éléments de l'ensemble de MCR.**

Au niveau national, les résultats concernant les changements relatifs à la productivité de la végétation peuvent être interprétés de la manière suivante :

**Tchad :** Les hausses de la PPB dans le sud du Tchad sont fortement liées aux changements de températures, ce qui attribue davantage de fiabilité à ce résultat. Plus au nord, dans le Sahel, les augmentations de la croissance végétale sont limitées par la disponibilité de l'eau. Par conséquent, les projections quant à la hausse de la productivité de la végétation dans cette région sont plausibles, mais comportent un niveau de confiance plus faible. Ce résultat indique que, dans les lieux où des accroissements de la couverture herbeuse C4 sont anticipés (figure 3), des hausses de productivité des cultures telles que le maïs, le sorgho ou le millet pourraient être observées.

**Mali :** Les baisses de productivité de la végétation dans les zones arides et semi-arides du sud du Mali sont liées à une baisse anticipée des précipitations dans l'ouest du Sahel, et dans

une moindre mesure à des hausses de températures de l'air parmi certains éléments de l'ensemble (voir l'annexe 1 pour plus de détails).

**Togo :** D'une manière générale, de légères baisses de productivité de la végétation sont anticipées, en lien avec les changements relatifs aux précipitations et aux températures (reflétant des résultats plausibles mais incertains). Il est anticipé que les hausses de productivité les plus importantes soient observées parmi les écosystèmes de savane boisée dans les zones du centre et du nord du Togo.

**Sierra Leone :** Des hausses de productivité de la végétation relativement importantes sont escomptées en Sierra Leone avant la période de futur éloigné, en lien avec les hausses anticipées des températures minimales (niveau de confiance élevé) et les augmentations anticipées du fractionnement relatif au couvert forestier à larges feuilles.

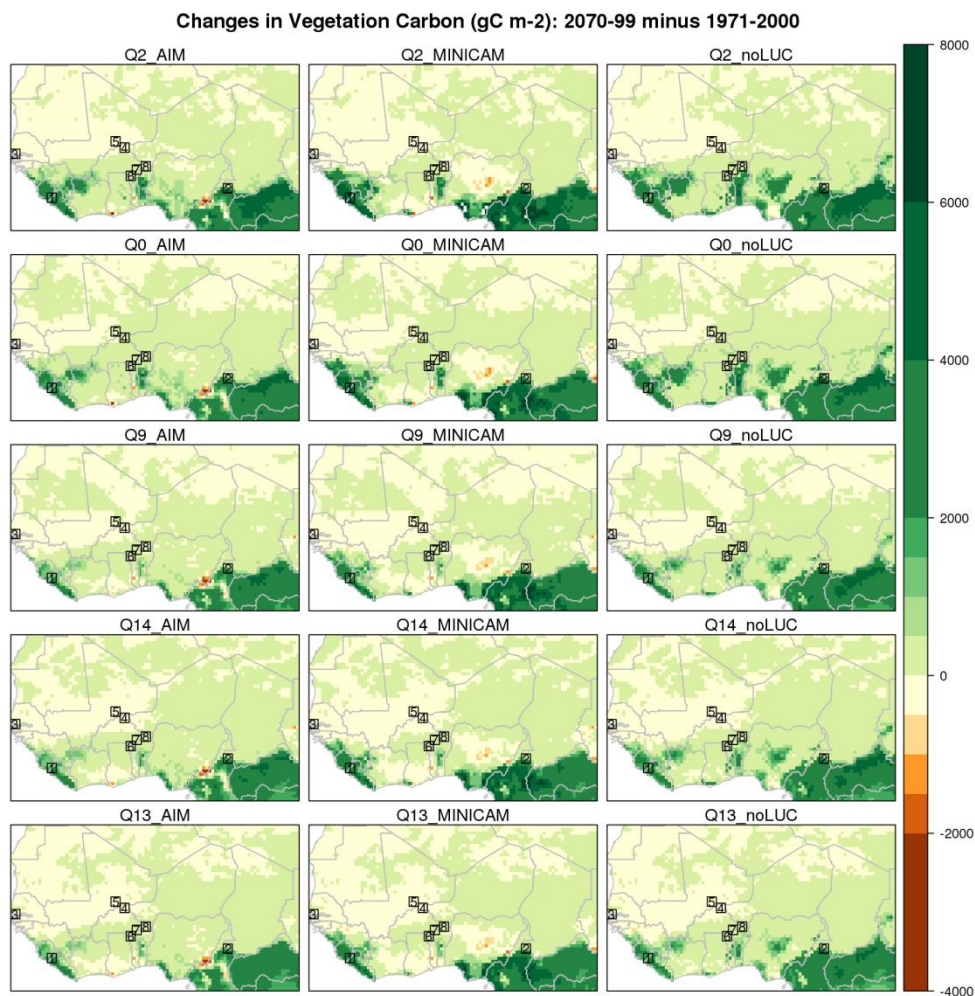
**Gambie :** Les projections reflètent une légère baisse de productivité de la végétation, qui est liée à une baisse anticipée des précipitations dans l'ouest du Sahel (résultats plausibles, mais incertains). Les projections quant aux changements de productivité de la végétation reflètent une forte sensibilité à la variabilité des précipitations, ce qui est indiqué par la variabilité d'une année à l'autre et par la variabilité d'une décennie à l'autre en termes de couvert végétal.

## 5. Stockage du carbone

---

Dans les forêts tropicales de l'Afrique de l'Ouest, de grandes quantités de carbone sont détenues dans la végétation hors et sous les sols. Dans le contexte de la REDD (Réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts), la quantité de carbone stockée dans la végétation des aires protégées pourrait avoir des implications financières importantes. Pour l'ensemble de la région, les résultats indiquent qu'une augmentation du carbone stocké dans la végétation est escomptée, particulièrement dans les écosystèmes de forêts tropicales humides et de savanes boisées tropicales (figure 7). Ceux-ci sont liés aux augmentations anticipées de la productivité de la végétation et du couvert fractionnaire forestier et arbustif. Sur le plan régional, la plupart des changements quant au stockage du carbone dans la végétation se produisent dans les forêts tropicales de la région. Ces zones coïncident principalement avec les lieux où la température est plus fortement liée à la PPB (voir davantage de détails dans l'annexe 1), ce qui implique un niveau de confiance plus élevé par rapport à ce résultat. Il est important de souligner que l'utilisation anthropique des terres peut avoir un impact négatif considérable sur ces

augmentations, tout en insistant sur l'importance de la protection des peuplements existants de forêts tropicales.



**Figure 7. Changements relatifs au stockage du carbone dans la végétation hors sol pour 5 éléments de l'ensemble climatique régional (rangées), et 3 scénarios d'utilisation des terres (colonnes).**

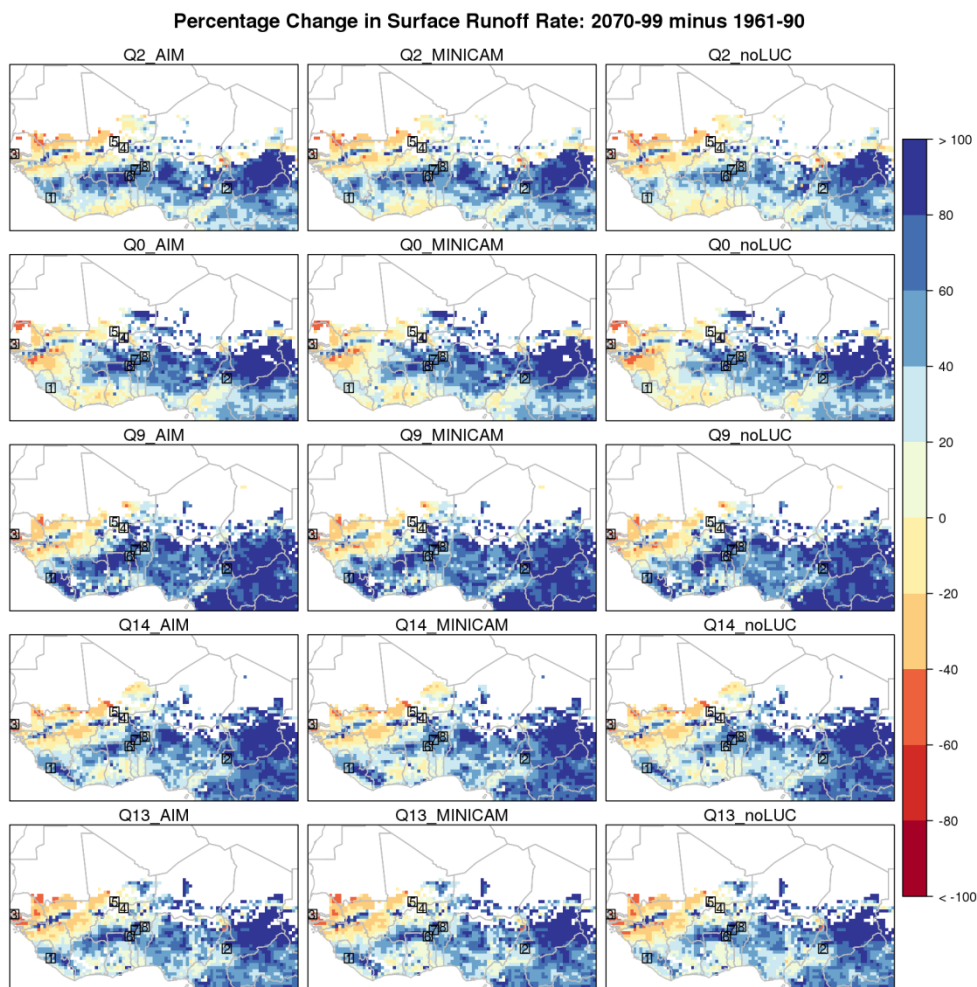
Le stockage du carbone dans la végétation est de loin le plus conséquent aux sites pilotes du projet PARCC qui se trouvent dans les forêts tropicales. Dans le Parc pour la paix de la forêt de Gola, sur la frontière entre la Sierra Léone et le Libéria, la plupart des éléments de l'ensemble anticipent une augmentation du stockage du carbone de 25 à 35 % de plus que durant la période historique. Dans les parcs nationaux de Bouba Ndjidda et de Sena Oura sur la frontière entre le Tchad et le Cameroun, il est escompté que cette augmentation soit encore plus forte (jusqu'à 100 % d'augmentation avant la période de futur éloigné), car elle est liée à un déplacement du couvert forestier vers le nord.

## 6. Ruissellement de surface

---

L'eau qui tombe sous la forme de précipitations peut être absorbée par les réservoirs d'eau des sols, être transpirée à travers la végétation, s'évaporer des sols (ou du couvert végétal), ou ruisseler dans les sillons. La quantité de ruissellement de surface témoigne de la quantité d'eau disponible pour la consommation et l'irrigation dans un lieu donné. Elle est étroitement liée aux projections des changements en termes de quantité de précipitations (via l'apport en eau), et aux projections des changements en termes de quantité et de productivité de la végétation (via la production d'eau due à l'évaporation et à la transpiration). Nous avons observé que, sur le plan régional, il est anticipé que le ruissellement de surface augmente, particulièrement dans les écosystèmes de savane, dans la zone située entre le nord du Ghana et le centre et le sud du Tchad, où il est escompté jusqu'à 100 % d'augmentation du ruissellement de surface avant la fin du siècle par comparaison à la période de 1961 à 1990. De légères diminutions sont anticipées dans l'ouest du Sahel (figure 8 ; entre 0 et 60 %), bien que les projections indiquant une baisse des précipitations dans cette région présentent actuellement un niveau de confiance faible.





**Figure 8. Changements en termes de pourcentage de ruissellement de surface pour 5 éléments de l'ensemble climatique régional (rangées), et 3 scénarios d'utilisation des terres (colonnes). Les zones arides (où le ruissellement de surface est très faible) sont exclues de l'analyse.**

Il est anticipé que les zones de savane de l'Afrique de l'Ouest présentent les plus fortes hausses du pourcentage de ruissellement de surface dans la région, où des hausses allant jusqu'à 100 % sont escomptées dans certaines zones du nord du Ghana, du nord du Togo, du Nigéria et du sud du Tchad (figure 8). L'augmentation anticipée, en valeur absolue, du ruissellement de surface dans ces écosystèmes est toutefois plus faible que celle anticipée pour le bassin du Congo (non illustrée). Il est également important de noter que le scénario relatif à une « absence de changement d'utilisation des terres » anticipe des augmentations plus faibles du ruissellement dans les écosystèmes de savane, particulièrement dans le complexe WAP transfrontalier. Ces résultats indiquent que, dans les lieux où il est probable qu'il n'y ait pas eu de changement par rapport à l'utilisation historique des sols (p. ex. les aires protégées), il est anticipé que des augmentations plus faibles du ruissellement de surface soient observées par comparaison aux lieux où il existe de fortes perturbations anthropiques. Il est supposé que cette différence est due aux quantités plus

importantes de couvert forestier et arbustif dans les aires protégées, impliquant que davantage d'eau est interceptée et transpirée par le couvert végétal. Des diminutions du ruissellement de surface sont généralement anticipées dans l'ouest du Sahel, en lien avec les projections indiquant une baisse des précipitations dans cette région (niveau de confiance faible). Toutefois, des augmentations sont également escomptées dans la région qui entoure le fleuve Niger, où des hausses du fractionnement relatif aux sols nus sont anticipées, menant à une interception amoindrie des fortes précipitations par la végétation. D'une manière générale, cependant, la diminution du ruissellement de surface dans l'ouest du Sahel pourrait affecter à la fois les systèmes humains et naturels, qui pourraient être plus sensibles à des changements plus légers en termes de ruissellement de surface, en raison de précipitations annuelles relativement faibles.

La figure 8 montre également qu'il existe une incertitude considérable quant à l'ampleur et l'importance des augmentations du ruissellement de surface. Ces résultats peuvent être observés en comparant la différence entre les éléments de l'ensemble (rangées) dans la figure 8. Par exemple, l'élément de l'ensemble Q9 présente des augmentations du ruissellement de surface dans de nombreuses zones de l'Afrique de l'Ouest, qui s'étendent des régions tropicales littorales de la Sierra Leone aux régions arides du Tchad. En revanche, l'élément de l'ensemble Q0 présente des changements relativement légers dans la zone située entre la Sierra Leone et le Ghana, avec des augmentations du ruissellement de surface qui sont limités aux écosystèmes de savane dans la ceinture entre le nord du Ghana et le centre du Tchad. Ces variations parmi les éléments de l'ensemble témoignent de la manière dont l'incertitude liée aux projections des précipitations peut affecter les projections relatives au bilan hydrologique de surface. Il est important de noter que tous les éléments de l'ensemble sont similairement plausibles. Toutefois, le niveau de confiance quant aux projections des précipitations est faible étant donné que les mécanismes du changement demeurent un domaine actif de la recherche.

## Conclusions

---

Dans le cadre de ce rapport, nous avons utilisé un modèle relatif à la surface terrestre (JULES) pour réaliser des projections des changements liés aux services écosystémiques en Afrique de l'Ouest. Cette méthode a impliqué l'analyse des impacts du climat ou de scénarios liés à l'utilisation des terres sur différents services, tels que le stockage du carbone, l'approvisionnement en eau et la productivité de la végétation.

Les principaux résultats pour l'Afrique de l'Ouest dans son ensemble correspondent premièrement à la prévision que le stockage du carbone des forêts augmente sous les effets du changement climatique, toutefois la dégradation des forêts semble limiter cette augmentation. En règle générale, cette augmentation est liée à une hausse anticipée des températures minimales dans les zones tropicales de l'Afrique de l'Ouest, et des précipitations dans les écosystèmes de savane.

Deuxièmement, il est escompté que la productivité de la végétation augmente dans la plupart des régions de l'Afrique de l'Ouest. Les exceptions à ce schéma se situent dans le sud du Nigéria, où les scénarios d'utilisation des terres envisagent un niveau d'activités humaines élevé, et dans l'ouest du Sahel, où une alerte de sécheresse (niveau de confiance faible) apparaît dans les projections climatiques. Dans ce cadre, les conséquences envisagées correspondraient à des écosystèmes plus productifs, et à des hausses du rendement des cultures.

Troisièmement, dans le centre et l'est de l'Afrique de l'Ouest, il est escompté que les écosystèmes se déplacent vers le nord. Cela correspond notamment à l'augmentation du fractionnement forestier des écosystèmes au Cameroun et en République centrafricaine, à l'augmentation du fractionnement arbustif dans les prairies de la savane du sud du Tchad et du nord du Nigéria, et à l'augmentation du fractionnement herbeux au bord du désert du Sahara au Tchad et au Niger.

## Bibliographie

---

- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., ... van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253–260. doi:10.1038/387253a0
- Cox, P. M., Betts, R. A., Jones, C. D., Spall, S. A., & Totterdell, I. J. (2000). Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, 408(6809), 184–7. doi:10.1038/35041539
- Janes, T., Jones, R., & Hartley, A. J. (2015). *Regional Climate Projections for West Africa*. Cambridge, UK.
- Jones, R. J., Hartley, A. J., McSweeney, C. F., Mathison, C., & Buontempo, C. (2012). *Deriving high resolution climate data for West Africa for the period 1950-2100*. Cambridge, UK.
- Lawton, J. H.; Bignell, D. E.; Bolton, B.; Bloemers, G. F.; Eggleton, P. *et al.* (1998). Biodiversity inventories, indicator taxa and effects of habitat modification in tropical forest. *Nature*, 391 72-76. doi:10.1038/34166
- Mayaux, P., Pekel, J.-F., Desclée, B., Donnay, F., Lupi, A., Achard, F., ... Belward, A. (2013). State and evolution of the African rainforests between 1990 and 2010. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 368(1625), 20120300. doi:10.1098/rstb.2012.0300

## **Annexe 1. Corrélations entre la PPB et les variables climatiques**

---

Dans cette figure, nous présentons la relation qui existe entre les changements en termes de production primaire brute (PPB) des plantes et les facteurs climatiques pour la totalité de la période d'une durée de 150 ans (1950-2099). Les connaissances sur la manière dont la PPB est liée au climat nous fournissent des informations quant à l'identification des facteurs climatiques associés à la productivité de la végétation dans différents lieux à travers la région. Cela nous permet d'établir un lien entre le niveau de confiance par rapport aux projections climatiques et le niveau de confiance attribué aux projections des changements relatifs aux services écosystémiques.

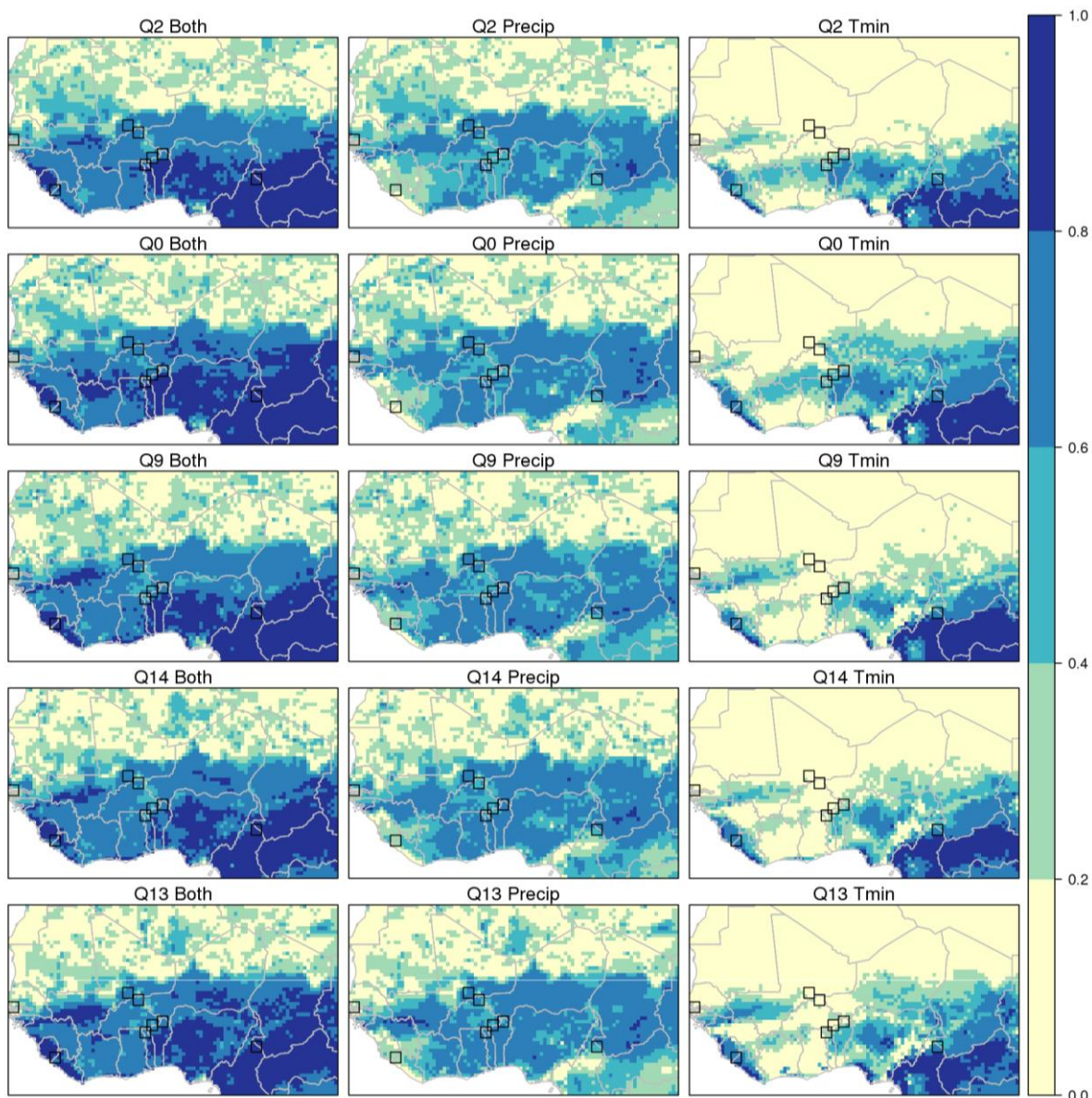


Figure 9. Degré auquel les températures minimales (à droite), les précipitations (au centre), et les deux combinées (à gauche) expliquent les changements en termes de production primaire brute (PPB) de 1950 à 2099. Les valeurs sont placées sur une échelle de 0 (absence de relation) à 1 (très forte relation). Les résultats montrent qu'un décalage des précipitations d'un an correspond à la relation la plus forte par rapport à la PPB.