



HAL
open science

La modélisation des changements d'utilisation des terres dans les pays d'Afrique Centrale 2000-2030

Aline Mosnier, Peguy Tonga, Rebecca Mant, Johannes Pirker, Stephan Pietsch, Géraldine Bocquého, Blaise Bodin, P. Gillet, Petr Havlík, Michael Obersteiner, et al.

► To cite this version:

Aline Mosnier, Peguy Tonga, Rebecca Mant, Johannes Pirker, Stephan Pietsch, et al.. La modélisation des changements d'utilisation des terres dans les pays d'Afrique Centrale 2000-2030. IIASA. 2017, 70 p. hal-04250096

HAL Id: hal-04250096

<https://hal.inrae.fr/hal-04250096v1>

Submitted on 19 Oct 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



International Institute for
Applied Systems Analysis
Schlossplatz 1
A-2361 Laxenburg, Austria

Tel:+43 (0) 2236-807-536
Fax:+43 (0) 2236-807-503
E-mail: riley@iiasa.ac.at
Web:www.iiasa.ac.at

Finance and Sponsored Research

CoForTips

Congo basin forests: tipping points for biodiversity conservation and resilience

Final Report

Submitted to
Austrian Science Fund (FWF)

IIASA Contract No. 13-102

June 2017

This paper reports on work of the International Institute for Applied Systems Analysis and has received only limited review. Views or opinions expressed in this report do not necessarily represent those of the Institute its National Member Organizations or other organizations sponsoring the work.

La modélisation des changements d'utilisation des terres dans les pays d'Afrique Centrale 2000-2030

Mosnier A, Tonga P, Mant R, Pirker J, Pietsch S, Bocquého G, Bodin B,
Gillet P., Havlík P, Obersteiner M, Kapos V, Makoudjou A., Ndinga R.,
Bokelo D., Tadoum M

Janvier 2017



REDD⁺

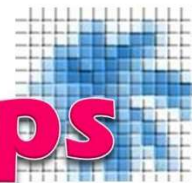
Supported by:



Federal Ministry for the
Environment, Nature Conservation,
Building and Nuclear Safety

based on a decision of the German Bundestag

CoForTips



biodiversa

FWF

Der Wissenschaftsfonds.

AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE

ANR

Belgian Science Policy Office



belspo

Remerciements

Les auteurs remercient les participants aux différents ateliers de présentation de la méthodologie et des résultats du projet REDD-PAC à Douala et à Yaoundé. Les auteurs remercient également les partenaires du projet CoForTips pour les riches discussions qui ont pu éclairer ce travail.

Table des matières

Liste des figures	3
1 Introduction.....	9
1 Etat d'avancement dans le processus REDD+ dans les pays de la COMIFAC.....	12
2 Le modèle.....	14
2.1 Le modèle GLOBIOM.....	14
2.2 Le modèle Congobiom	18
2.3 Carte de végétation	20
2.4 Les concessions forestières et les aires protégées	21
2.5 Surfaces cultivées et jachères agricoles.....	22
2.6 Potentiel du palmier à huile	24
3 Calcul des émissions de gaz à effet de serre	26
3.1 Emissions liées au changement d'utilisation des terres.....	26
3.2 Emissions liées à la dégradation de la forêt.....	27
3.3 Emissions/séquestration de carbone liées à l'agriculture	28
4 Calcul des impacts sur la biodiversité.....	30
4.1 Impact sur les écosystèmes.....	30
4.2 Impact sur les espèces.....	31
4.3 Impact sur les produits forestiers non-ligneux	33
5 Description des scénarios.....	35
5.1 Contexte socio-économique	35
5.2 Domaine forestier permanent	38
5.2.1 Scénarios alternatifs pour les aires protégées.....	38
5.2.2 Concessions forestières	39

5.3	Développement agricole	39
5.3.1	Evolution des rendements agricoles	39
5.3.2	Objectifs de plantations de palmiers à huile.....	40
6	Validation du modèle sur la période 2000-2010.....	41
6.1	Comparaison avec la déforestation historique 2001-2010.....	41
6.2	Comparaison des surfaces cultivées	43
7	Résultats sur 2010-2030 dans le scénario de base	45
7.1	Déforestation et autres changements d'utilisation des terres.....	45
7.2	Emissions.....	47
7.3	Impacts potentiels sur la biodiversité	50
8	Résultats pour les scénarios alternatifs	54
8.1	Déforestation et autres changements d'utilisation des terres.....	54
8.2	Emissions.....	56
8.3	Impacts sur la biodiversité.....	59
9	Quels facteurs peuvent réconcilier plusieurs objectifs ?.....	62
9.1	OMD et ODD	62
9.2	Analyse multi-objectifs.....	63
10	Conclusion et discussion des résultats	65

Liste des figures

FIGURE 1 LA DEFORESTATION FUTURE DEPEND DES BESOINS FUTURS EN NOURRITURE, EN BOIS ET EN ENERGIE DANS LE MODELE CONGOBIOM	14
FIGURE 2. PRINCIPALES DONNEES D'ENTREE ET DE SORTIE DU MODELE GLOBIOM A DIFFERENTES ECHELLES	16
FIGURE 3. ELEMENTS UTILISES POUR LA DELIMITATION DES UNITES DE SIMULATION	17
FIGURE 4. LE MODELE GLOBIOM-CONGOBIOM COMME UN SOUS-ENSEMBLE DU MODELE GLOBIOM	19
FIGURE 5 CARTE DE VEGETATION HYBRIDE: PART DES CELLULES EN % OCCUPEES PAR LES TERRES CULTIVEES (A GAUCHE), LES FORETS DENSES HORS FORETS INONDEES (AU CENTRE) ET LES FORETS SECHES (A DROITE)	20
FIGURE 6 REPARTITION DU TERRITOIRE DE CHAQUE PAYS PAR TYPE DE COUVERTURE VEGETALE APRES REALISATION DE LA CARTE HYBRIDE	21

FIGURE 7 SITES DU PROJET COFORTIPS, DENSITE DE POPULATION ET TEMPS DE JACHERE (SOURCE : GILLET, 2016).....	23
FIGURE 8 PROJECTION OF POPULATION DENSITY BY KM2 BETWEEN 2000 AND 2050 IN THE CONGO BASIN (SOURCE: IIASA/POP).....	23
FIGURE 9. CARTE DE POTENTIEL BIOPHYSIQUE DU PALMIER A HUILE EN REPUBLIQUE DU CONGO (DE VERT = TRES FORT POTENTIEL A ROUGE : FAIBLE POTENTIEL ET GRIS FONCE : NON PROPICE)	25
FIGURE 10 DYNAMIQUE DES STOCKS DE CARBONE DANS LA BIOMASSE VIVANTE EN SURFACE ET EN SOUS-SOL, ESTIMEE PAR LE MODELE DU CGC AVANT ET APRES LE DEBOISEMENT DES FORETS POUR L'AGRICULTURE ITINERANTE AVEC UN TEMPS DE JACHERE DE 7 ANS ET UNE QUALITE DU SOL DIFFERENTE (GAUCHE) ET SEQUESTRATION DU CARBONE SUR LES JACHERES SUR 30 ANS (DROITE)	29
FIGURE 11. LES HYPOTHESES DU SCENARIO DE BASE SONT PRESENTEES A GAUCHE TANDIS QUE LES CHANGEMENTS INTRODUITS DANS CHAQUE SCENARIO SONT DECRITS A DROITE (UN SCENARIO PAR BOITE BLANCHE).....	35
FIGURE 12. TRAJECTOIRES DE DEVELOPPEMENT SOCIO-ECONOMIQUES ELABOREES DANS LE CADRE DU GIEC	36
FIGURE 13 COMPARAISON DE LA DEFORESTATION CALCULEE SUR LA PERIODE 2001-2010 AVEC LE MODELE AVEC LA DEFORESTATION HISTORIQUE OBSERVEE – GFC INDIQUE LES ESTIMATIONS DISPONIBLES SUR LE SITE GLOBAL FOREST WATCH, AUTRE INDIQUE AIRBUS-GAF POUR LE CAMEROUN, FACET POUR LA RDC ET GAF POUR LA REPUBLIQUE DU CONGO.	42
FIGURE 14 CAUSES DE LA DEFORESTATION ESTIMEE ENTRE 2000-2010 PAR PAYS	43
FIGURE 15 COMPARAISON ENTRE L'EVOLUTION DES SURFACES CULTIVEES EN 2010 ET EN 2000 PAR CULTURE DANS LES PAYS DE LA COMIFAC (GAUCHE) ET PAR PAYS (DROITE) SELON LES ESTIMATIONS DE GLOBIOM ET DE LA FAO.	44
FIGURE 16 EVOLUTION DE LA DEFORESTATION TOTALE DANS LES PAYS DE LA COMIFAC ENTRE 2000 ET 2030 EN MILLIONS D'HECTARES (GAUCHE) ET LOCALISATION DE LA DEFORESTATION CUMULEE SUR LA PERIODE 2011-2030 EN MILLIERS D'HECTARES (DROITE)	45
FIGURE 17 DEFORESTATION CUMULEE 2011-2030 PAR PAYS ET PAR CAUSE EN MILLIONS D'HECTARES (GAUCHE) ET REPARTITION DE LA DEFORESTATION PAR PAYS PAR CAUSE EN % (DROITE).....	46
FIGURE 18 CONVERSION OU EXPANSION DES DIFFERENTS TYPES D'OCCUPATION DES SOLS POUR CHAQUE PERIODE DE SIMULATION (PERIODE DE 10 ANS). COMME LA SURFACE DE TERRE TOTALE EST FIXE, LA SOMME DE CES CHANGEMENTS EST EGALE A ZERO POUR CHAQUE PERIODE.	47
FIGURE 19 EMISSIONS ISSUES DE LA DEFORESTATION PAR PERIODE DE 10 ANS ET CUMULEES SUR LA PERIODE 2010-2030 EN UTILISANT DIFFERENTES CARTES DE BIOMASSE	47
FIGURE 20 SURFACES EN JACHERES PAR CLASSES D'AGE DANS LES PAYS DE LA COMIFAC (GAUCHE) ET SEQUESTRATION DE CARBONE DANS LES JACHERES PAR DECENNIE DANS LES PAYS DE LA COMIFAC (DROITE).....	49

FIGURE 21 COMPOSITION DES EMISSIONS TOTALES ESTIMEES DANS LES PAYS DE LA COMIFAC SUR LA PERIODE 2011-2030 EN GT CO ₂	49
FIGURE 22 VARIATION TOTALE DE L'UTILISATION DES TERRES SUR LA PERIODE 2011-2030 DANS LES ECOREGIONS DU BASSIN DU CONGO.	51
FIGURE 23 MODELISATION DE L'IMPACT DE LA DEFORESTATION SUR L'HABITAT POTENTIEL POUR LES GRANDS SINGES PAR UNITE DE SIMULATION	52
FIGURE 24 CARTE DE L'IMPACT COMBINE DE LA PERTE D'HABITAT DES ESPECES DE 2030 A 2010 POUR L'ENSEMBLE DES ESPECES, PONDEREE PAR L'ENDEMISME RELATIF DE CHAQUE ESPECE.	53
FIGURE 25 DEFORESTATION TOTALE CUMULEE SUR LA PERIODE 2010-2030 SELON DIFFERENTS SCENARIOS : LES SCENARIOS EN VERT REDUISENT LA DEFORESTATION FUTURE PAR RAPPORT AU SCENARIO DE BASE (EN GRIS) TANDIS QUE LES SCENARIOS EN ROUGE AUGMENTENT LA DEFORESTATION FUTURE	55
FIGURE 26 CONVERSION OU EXPANSION DES DIFFERENTS TYPES D'OCCUPATION DES SOLS ENTRE 2011 ET 2030 POUR CHAQUE SCENARIO.	56
FIGURE 27 VARIATION DES EMISSIONS ISSUES DE LA DEFORESTATION ET VARIATION DES SURFACES DEFORESTEEES SUR LA PERIODE 2011-2030 DANS LE BASSIN DU CONGO SELON LES SCENARIOS ET LA CARTE DE BIOMASSE UTILISEE	56
FIGURE 28 COMPARAISON DES EMISSIONS PAR SOURCE ET TOTALES DANS LES PAYS DE LA COMIFAC SUR LA PERIODE 2011-2030 SELON LES SCENARIOS	57
FIGURE 29 IMPACT DES DIFFERENTS SCENARIOS SUR LA PERTE D'HABITAT POTENTIEL POUR LES GRANDS SINGES 2030.....	59
FIGURE 30 NOMBRE D'ESPECES DONT UNE CERTAINE PART DE LEUR AIRE D'HABITAT POTENTIEL EST CONVERTIE A D'AUTRES USAGES SUR LA PERIODE 2010-2030.....	60
FIGURE 31 L'IMPACT DE DIFFERENTS SCENARIOS SUR L'AIRE DE REPARTITION POSSIBLE ET PROBABLE DU PRUNUS EN POURCENTAGE DE LA SURFACE QUI EST TOUCHE PAR LA DEFORESTATION.....	61

Liste des tableaux

TABLEAU 1 SURFACE PAR TYPE DE COUVERTURE VEGETALE APRES REALISATION DE LA CARTE HYBRIDE EN MILLIONS D'HECTARES	20
TABLEAU 2 AIRES PROTEGEES PAR TYPE DE COUVERT VEGETAL EN MILLIONS D'HECTARES APRES RETROCESSION DES ZONES DE CHEVAUCHEMENT AVEC LES CONCESSIONS FORESTIERES	21
TABLEAU 3 FACTEUR D'EMISSION TOTAL ET PAR TYPE D'IMPACT POUR DIFFERENTS TYPES D'EXPLOITATION FORESTIERE	27
TABLEAU 4 PROJECTIONS DE PIB, DE POPULATION ET DE PIB MOYEN PAR HABITANT SELON LES SCENARIOS A L'HORIZON 2030 PAR PAYS DE LA COMIFAC	36

TABLEAU 5 EVOLUTION DES FACTEURS D'EMISSIONS POUR LA DEFORESTATION PAR PAYS ET SELON LA CARTE DE BIOMASSE UTILISEE EN TCO ₂ PAR HECTARE DEFORESTE	48
TABLEAU 6 FACTEUR D'EMISSION MOYEN PAR SCENARIO ET PAR TYPE DE CONVERSION DES TERRES EN DEHORS DE LA DEFORESTATION ENTRE 2010 ET 2030 (EN TCO ₂ /HA)	58
TABLEAU 7 COMPARAISON DES SCENARIOS SUR LEUR CONTRIBUTION A PLUSIEURS OBJECTIFS (LA COULEUR VERTE INDIQUE UN RAPPROCHEMENT VERS LA REALISATION D'UN OBJECTIF TANDIS QUE LA COULEUR ROUGE SIGNIFIE UN ELOIGNEMENT DE L'OBJECTIF)	63

Résumé exécutif

L'utilisation des terres est un facteur crucial pour le développement économique et l'environnement. Ainsi une terre dédiée à l'agriculture permettra une production régulière qui sera bénéfique pour satisfaire les besoins alimentaires des populations alentour et potentiellement, pour l'économie dans son ensemble. Par contre, les terres agricoles ont un contenu carbone bien inférieur à une terre forestière et sont généralement pauvres en biodiversité. Les terres peuvent être utilisées de différentes manières afin de répondre à différents objectifs et il peut être potentiellement difficile de satisfaire tous ces objectifs à la fois, donnant lieu à des choix difficiles lors de la conception des politiques.

Les pays membres de la Commission des forêts d'Afrique centrale (COMIFAC) ont identifié l'initiative pour la réduction des émissions issues de la déforestation et de la dégradation forestière et l'amélioration des stocks de carbone (REDD+) comme un enjeu majeur dans la dernière révision du Plan de Convergence pour la Gestion Durable des Forêts, aux côtés de la conservation et de l'utilisation durable de la diversité biologique et de la réduction des impacts du changement climatique. Cette étude a pour objectif d'identifier les zones soumises aux pressions de conversion les plus fortes dans le futur et les conséquences en termes de production agricole, d'émissions de gaz à effet de serre (GES) et de risque de perte de biodiversité, avec pour but d'accompagner les institutions impliquées dans la REDD+ ainsi que dans la planification des Stratégies Nationales et Plans d'Action pour la Biodiversité dans les pays de la COMIFAC.

Les modèles permettent d'explorer dans un cadre simplifié les conséquences de changements futurs. Dans le cadre de cette étude, le modèle GLOBIOM (www.globiom.org) a été adapté au contexte du Bassin du Congo. Le modèle sous régional couvre l'ensemble des pays de la COMIFAC. Dans le modèle, la région COMIFAC est reliée aux autres régions du monde tandis que les 6 sous-régions à l'intérieur de la COMIFAC - le Cameroun, la RDC, le Congo, l'Ouest, le Nord et l'Est- peuvent commercer entre elles. La production agricole et les changements d'utilisation des terres sont représentés dans une grille de 2211 unités spatiales d'environ 50 par 50 km.

Le modèle GLOBIOM est un modèle économique mondial qui représente la compétition pour l'utilisation des terres entre le secteur agricole, le secteur forestier et le secteur des bioénergies. La période de simulation est 2000-2030, la première période 2000-2010 permettant de tester la capacité du modèle à reproduire les tendances passées. La déforestation est modélisée à partir des changements de production et de consommation et pour tous les pays en même temps. Ainsi, on peut plus facilement vérifier la validité et la cohérence des estimations et éviter une surestimation de la déforestation future dans les niveaux de référence, sans relation avec l'évolution de la demande. La spatialisation des résultats assure la cohérence de la déforestation calculée au niveau sous-national avec la déforestation totale au niveau national et permet de prendre en compte l'hétérogénéité des terres, par rapport à leur potentiel productif, leur contenu en carbone et leur richesse en biodiversité.

Il est très important pour les travaux de modélisation d'avoir une bonne représentation de la situation de départ. Alors que l'agriculture est le premier facteur de déforestation, il y a beaucoup

d'incertitude quant à la localisation actuelle des terres agricoles dans la sous-région. Une carte hybride a été réalisée en combinant les cartes de végétation existantes après consultation avec les experts locaux et les statistiques agricoles disponibles.

Selon des projections modérées (SSP2), près de 200 millions de personnes devraient vivre dans les pays de la COMIFAC en 2030, avec une forte augmentation de la population urbaine et du PIB par habitant. Cela engendre une hausse de la consommation locale de produits agricoles qui se traduit par une augmentation des surfaces cultivées. Nos résultats montrent une augmentation de la déforestation annuelle moyenne de 610 000 ha entre 2000 et 2010 à 920 000 hectares entre 2020 et 2030, provoquant l'émission de 10 Gigatonnes de CO₂ sur la période 2011-2030. D'après nos estimations, les deux tiers de la déforestation viennent de l'expansion du manioc, du maïs et de l'arachide et des jachères associées et 15% de l'expansion du palmier à huile. L'augmentation des importations alimentaires et l'expansion des terres agricoles dans d'autres types de végétation que la forêt participent à réduire l'impact de l'augmentation de la demande locale sur les forêts, même si cela peut entraîner d'autres inquiétudes.

Les pays de la COMIFAC abritent quatre espèces de Grands Singes, le chimpanzé, le bonobo, le gorille de montagne et le gorille des plaines occidentales, qui sont fortement dépendantes de la présence de forêts naturelles pour leur habitat et qui présentent un important potentiel pour le développement de l'écotourisme. Le modèle prédit une perte d'habitat particulièrement importante pour les grands singes dans le centre du Cameroun et dans la région est de la RDC. Outre la perte directe d'habitat, l'expansion des zones agricoles devrait entraîner une augmentation des contacts hommes-faunes et par conséquent des risques de braconnage.

La déforestation cumulée entre 2010 et 2030 varie entre 12 et 18 millions d'hectares dans les scénarios testés contre 16 millions d'hectares dans le scénario de base. L'amélioration des rendements agricoles, l'augmentation des aires protégées et une plus faible croissance de la population et du PIB pourraient réduire la déforestation sur la période 2010-2030 tandis que les objectifs de croissance des surfaces en palmiers à huile, l'expansion de l'agriculture non contrôlée dans les aires protégées ou les concessions forestières, et une plus forte augmentation de la population et du PIB augmentent la déforestation par rapport au scénario de base.

L'augmentation de la productivité agricole pourrait réconcilier les objectifs de sécurité alimentaire, d'atténuation du changement climatique et de conservation de la biodiversité. A l'inverse, la combinaison d'une plus forte croissance économique et d'une plus forte croissance de la population entraîne une détérioration de tous les objectifs. Le non-respect des aires protégées entraîne un faible gain économique par rapport aux conséquences négatives pour les émissions de GES et la biodiversité et nos résultats montrent aussi que les concessions forestières peuvent permettre de lutter contre la déforestation dans l'avenir. L'expansion des aires protégées, malgré des gains significatifs pour la biodiversité et une réduction de la déforestation, entraîne des impacts négatifs sur la production agricole et sur les émissions, illustrant les compromis qui existent entre certains objectifs.

1 Introduction

Les pays d’Afrique Centrale sont aujourd’hui à la croisée des chemins avec la nécessité de stimuler la croissance de l’économie pour améliorer les conditions de vie d’une population grandissante. Les programmes politiques définis par les États de la région visent l’émergence économique d’ici 2035¹. Ces programmes reposent sur la poursuite de l’exploitation des ressources naturelles (bois, pétrole, minerais), la production agricole pour les besoins domestiques et pour l’exportation, ainsi que sur le renforcement des activités industrielles de transformation (de Wasseige, Tadoum, Eba’a Atyi, & Doumengue, 2015). La conciliation entre les objectifs de développement et la protection de l’environnement et la conservation de la biodiversité est donc un défi de taille dans les prochaines années. En 1999, la Déclaration de Yaoundé par les Chefs d’Etats d’Afrique Centrale a défini les principes de gestion durable des ressources forestières et crée la Commission des Forêts d’Afrique Centrale (COMIFAC) afin d’orienter, d’harmoniser et de suivre les politiques forestières et environnementales en Afrique Centrale. Cette déclaration a été enterinée par la mise sur pied du plan de convergence qui est le cadre d’intervention et de coordination de toutes les interventions en matière de conservation et de gestion durable des écosystèmes en Afrique Centrale (2005, 2015).

Depuis 2005, la réduction des émissions liées à la déforestation et la dégradation des forêts est discutée dans le cadre des négociations internationales sur le climat. Les pays en développement sont particulièrement encouragés à contribuer à la réduction des émissions issues des forêts en conformité avec les capacités des pays et des circonstances nationales, à travers cinq activités : a) la réduction des émissions issues de la déforestation, b) la réduction des émissions issues de la dégradation forestière, c) la conservation des stocks de carbone dans les forêts, d) la gestion durable des forêts et e) l’augmentation des stocks de carbone dans les forêts. L’acronyme REDD+ est utilisé pour faire référence à ces cinq activités.

La déforestation et la dégradation des forêts sont restées à un niveau faible dans le Bassin du Congo et on estime qu’elles sont actuellement principalement associées à l’expansion des activités de subsistance (agriculture et énergie) autour de zones de peuplement. Ainsi, la déforestation et la dégradation forestière au niveau du Bassin du Congo pourront difficilement diminuer dans le futur. Les pays de la COMIFAC ont adopté une position commune dans le cadre des négociations sur le climat et en matière de la REDD+. Ils soutiennent l’établissement d’un niveau de référence qui prenne en compte les politiques futures de développement économique et social de la sous-région à travers une variable d’ajustement des taux historiques et une prévisibilité de la rémunération possible à court et moyen terme. Ils soulignent également le rôle des activités REDD+ dans la promotion des bénéfices non carbone, y compris le développement socio-économique, la réduction de la pauvreté, les bénéfices liés à la biodiversité, la résilience des écosystèmes, ainsi que le renforcement des liens avec l’adaptation au changement climatique.

¹ En 2025 d’après le Programme Économique Régional de la CEMAC et 2030 et 2035 pour la RDC et le Cameroun.

En effet, les changements dans l'utilisation des terres ne contribuent pas seulement aux émissions mondiales de gaz à effet de serre, ils entraînent également la perte ou la fragmentation des habitats naturels pour différentes espèces. Les pays du bassin du Congo ont intensifié leurs efforts de coordination régionale pour assurer la conservation de la biodiversité et la gestion durable des forêts du bassin du Congo. Un réseau sous-régional d'Aires protégées (RAPAC) a été créé en 2000 et en 2006, la COMIFAC a créé le Groupe de Travail Biodiversité de l'Afrique Centrale (GTBAC). Tous les pays membres de la COMIFAC sont partie à la Convention sur la Diversité Biologique (CDB). Celle-ci a pour objectifs principaux la conservation de la biodiversité, l'utilisation durable de ses composantes, et le partage juste et équitable des avantages découlant de l'utilisation des ressources génétiques. Le Plan stratégique 2011-2020, adopté par les parties à la CDB en Octobre 2010, décline ces trois grands axes en cinq buts stratégiques et 20 objectifs - ci-après 'Objectifs d'Aichi'. Il s'agit d'objectifs mondiaux mais leur mise en œuvre s'effectue principalement au niveau national, sous-national et local. Les objectifs sont adaptés principalement à l'échelon national par le biais de Stratégies et Plans d'Action Nationaux pour la Biodiversité (SPANB) élaborés par les Parties à la CDB.

Un processus de révision de ces SPANBs est entamé depuis 2010 afin d'y intégrer les objectifs du Plan Stratégique d'Aichi pour la biodiversité². Le Plan de Convergence de la COMIFAC³ constitue un cadre de référence au niveau sous régional pour la révision des SPANBs. L'un des objectifs de cette révision est de pouvoir intégrer également les aspects liés à l'accès et au partage des avantages qui est le 3^{ème} objectif de la CDB, insuffisamment mis en œuvre à l'échelle nationale. La révision des SPANBs présente également une opportunité d'intégrer des considérations liées aux bénéfices multiples de la REDD+ pour la biodiversité avec les objectifs de la CDB. Par exemple les activités REDD+ visant à réduire la déforestation contribuent de manière évidente à l'Objectif 5 d'Aichi sur « la réduction de la perte d'habitats naturels, y compris les forêts », et vice-versa. Cependant, la REDD+ comporte potentiellement aussi des risques pour la biodiversité. Ainsi, si on limite la conversion des forêts en terres agricoles sans traiter les facteurs responsables de la conversion, cela pourrait simplement déplacer ces pressions vers d'autres écosystèmes importants pour la biodiversité, comme les savanes naturelles. Les bénéfices et risques potentiels de la REDD+ ont été reconnus par la CCNUCC à travers sept garanties adoptées lors de la Conférence des Parties de Cancun en 2010, que les pays doivent promouvoir dans leur mise en œuvre de la REDD+. L'intégration des aspects carbone et biodiversité renforcerait la cohérence des différents agendas environnementaux de la sous région et la crédibilité de son approche auprès des parties aux conventions climat et biodiversité.

Le projet REDD-PAC (« REDD+ Policy Assessment Center » ou « Centre d'Evaluation des politiques REDD+ » en français) vise à apporter des éléments de compréhension concernant les facteurs de changement du couvert forestier et de la biodiversité dans les prochaines décennies

² Le Cameroun est le premier pays de la sous région à avoir soumis son SPANB, il semble être suivi par la RDC et la République du Congo qui sont très avancés dans la rédaction de leur mouture finale. Cela reste encore à vérifier.

³ Le Plan de Convergence de la COMIFAC a été révisé en 2014.

dans le Bassin du Congo et au Brésil et l'impact des politiques sur ces changements. Dans le cadre de cette étude, le modèle économique de changement des terres GLOBIOM a été enrichi et adapté aux contextes de ces deux régions afin d'étudier les potentielles trajectoires de déforestation sous différentes hypothèses et conditions et les impacts sur les émissions de GES, l'agriculture et la biodiversité. La préparation pour la REDD+ implique le développement de certains éléments clés. L'utilisation de modèles peut informer le développement de plusieurs des éléments requis par la CCNUCC (Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique) dans le cadre de REDD +:

- a. ***Une stratégie nationale ou un plan d'action*** : en permettant d'explorer l'impact de différents facteurs sur l'utilisation des terres et en identifiant les zones soumises aux pressions de conversion les plus fortes, les modèles peuvent aider dans le développement et la mise en œuvre de stratégies pour éviter ou réduire la déforestation et la dégradation. La modélisation peut aussi permettre de tester les impacts potentiels des différentes politiques. Cette évaluation peut se faire simultanément en termes d'émissions, de production agricole et de biodiversité, permettant ainsi une meilleure intégration de ces différentes problématiques dans la planification et l'élaboration des politiques.
- b. ***Un niveau de référence national pour les émissions des forêts*** et/ou niveau de référence pour les forêts : en aidant à comprendre jusqu'à quel point les changements d'utilisation des terres se produiraient si la REDD+ n'était pas appliquée, les modèles peuvent aussi potentiellement alimenter le développement d'un niveau de référence national d'émission des forêts/niveau de référence national des forêts. Cette possibilité est explorée plus en détail dans les sections suivantes.
- c. ***Un système robuste et transparent de suivi du couvert forestier national*** pour le suivi et la notification des activités [REDD +], compte tenu de la situation nationale : les modèles auront vraisemblablement un rôle plus limité dans le développement d'un système national de surveillance des forêts.
- d. ***Un système pour fournir des informations sur la façon dont les garanties sont prises en compte et respectées*** : la compréhension des impacts potentiels des différentes options politiques de mise en œuvre de la REDD+, y compris sur la biodiversité, peut aider à identifier quelles mesures devraient être mise en œuvre pour s'assurer que les garanties REDD+ soient prises en compte et respectées.

Ce rapport présente la méthodologie et les résultats du projet REDD-PAC pour les pays de la COMIFAC. Nous espérons que ces résultats pourront aider les pays dans l'établissement de leur niveau de référence et leur planification de la REDD+, mais aussi plus largement dans leur aménagement du territoire.

1 Etat d'avancement dans le processus REDD+ dans les pays de la COMIFAC

On distingue trois phases principales dans la mise en œuvre de REDD+ :

- **Phase 1** : Préparation - Cette phase inclut le développement de la stratégie nationale et de l'infrastructure nécessaire pour les étapes suivantes, notamment en termes de contrôle et de déclaration des émissions.
- **Phase 2** : Mise en œuvre d'activités d'appui identifiées dans la stratégie REDD+ - Elle repose sur (a) des subventions ou d'autres ressources financières pour le renforcement des capacités et l'habilitation des politiques et mesures, et sur (b) des paiements indexés sur la réduction des émissions attestée par des indicateurs pour les zones de projets.
- **Phase 3** : Mise en œuvre d'un programme national - Les paiements sont intégralement basés sur les résultats, c'est à dire en échange d'une réduction réelle des émissions.

En pratique, il y a cependant souvent une confusion concernant ces différentes étapes du processus REDD+. A ce jour, les phases 1 et 2 se noient pratiquement dans le même canevas, vu qu'il s'agit d'une phase d'élaboration d'une stratégie (phase 1) qui est appliquée (phase 2) en fonction des financements disponibles. Dans le bassin du Congo, le développement des politiques REDD+ dépend de l'état d'avancement du processus dans les pays. Le niveau d'activité est également lié à une série de facteurs tels que le taux de déforestation historique, les capacités techniques et les financements disponibles. Aucun des pays de la COMIFAC n'est encore entré dans la phase 3. Les 10 pays membres de la COMIFAC peuvent être regroupés dans quatre groupes :

- (1) La RDC se présente comme le pays qui est le plus avancé de la COMIFAC dans le mécanisme REDD+. La RDC a soumis son R-PP en Juillet 2010, la stratégie nationale cadre REDD+ a été validée par le Gouvernement en novembre 2012, et les plans d'investissement au niveau sous-national et national ont été validés. De plus, la RDC a créé un Fonds National REDD+ afin de coordonner les investissements privés dans REDD+. Le pays met en œuvre son programme de réduction des émissions dans le Mai-Ndombé et poursuit plusieurs activités au travers de 6 projets pilotes REDD+. En 2016, un accord a été signé entre la RDC et le CAFI (Initiative pour la forêt de l'Afrique Centrale) afin de financer la mise en œuvre de la stratégie nationale et du plan d'investissement sur la période 2016-2020.
- (2) La République du Congo peut être considérée comme le second pays le plus avancé dans le mécanisme REDD+. La Stratégie nationale REDD+ est en cours d'élaboration mais le Niveau de Référence des Emissions issues des Forêts a déjà été soumis en janvier 2016. Le Cameroun a finalisé son R-PP en janvier 2013 et amorcé la rédaction de la stratégie nationale qui devrait être finalisée d'ici fin 2017. La République Centrafricaine (RCA) a finalisé son R-PP en mai 2013 mais le conflit qui a éclaté fin 2013 a considérablement ralenti le processus.

(3) Le Burundi, la Guinée équatoriale, le Rwanda, Sao Tomé-et-Principe et le Tchad n'ont toujours pas finalisé leur R-PP. Cependant, au niveau sous régional, les experts de ces pays continuent de bénéficier des appuis et des informations sur les différents processus REDD+ en cours, mobilisés par la COMIFAC.

(4) Le Gabon a opté pour prendre en compte tous les secteurs d'émissions de GES dans le Plan National Climat et ne pas s'impliquer dans le processus REDD+.

REDD + étant un facteur clé dans le changement d'utilisation des terres (ou l'absence de changement), il est considéré comme une variable importante dans la conservation de la biodiversité, ce qui en fait une politique clé dans la perspective du Plan stratégique 2011-2020 pour la biodiversité. Le statut de ce dernier dans le bassin du Congo montre que les pays sont en phase de révision de leurs stratégies nationales et plans d'action (SPANB). Le Cameroun a soumis sa stratégie et son plan d'action en 2012. Il a été suivi par le Congo et la Guinée Equatoriale qui ont soumis leur SPANB en 2015. Notons également que le Tchad avait déjà élaboré sa stratégie en 1999, mais elle a été révisée et validée à nouveau en 2014.

Suivant les recommandations découlant de l'étude de la banque mondiale sur les moteurs de la déforestation (voir section 1.2.), pour le projet REDD-PAC il a été décidé de développer des modèles nationaux pour 3 pays pilotes. Le choix des pays pilotes a été décidé par les points focaux climat des pays de la COMIFAC lors de l'atelier de lancement du projet REDD-PAC à Kinshasa en octobre 2013. Les différents critères qui ont été considérés pour le choix de ces pays pilotes ont été :

- Le potentiel du pays pour la REDD + en termes de superficie forestière totale et de stocks carbonés et les pressions exercées sur les écosystèmes (déforestation, population, agriculture, etc.).
- L'intérêt national pour REDD+.
- La disponibilité des statistiques notamment pour le secteur agricole et le secteur forestier au niveau sous-régional et pour chaque année, et les autres facteurs de déforestation.

Notons que l'état d'avancement dans le phasage indicatif du mécanisme REDD+ pour les pays de l'Afrique Centrale a pesé de tout son poids pour inscrire les pays retenus au rang de pays pilotes du projet. Il a donc été décidé de développer des modèles nationaux pour la République Démocratique du Congo, la République du Congo, le Cameroun et la RCA. Néanmoins, il ne nous a pas été possible de continuer nos travaux en RCA en raison de l'éclatement du conflit fin 2013 et l'instabilité du pays depuis.

2 Le modèle

2.1 Le modèle GLOBIOM

Le modèle économique d'utilisation des terres GLOBIOM (www.globiom.org) est développé à IIASA (en Autriche) depuis 2007 et a été/est utilisé dans le cadre de nombreux projets, notamment pour l'estimation de l'évolution des émissions issues du changement d'utilisation des terres et de l'agriculture au niveau mondial, mais aussi pour l'Europe et les Etats-Unis (). Pour le projet REDD-PAC, ce modèle a été adapté pour le Brésil et le Bassin du Congo, et plus particulièrement pour la République du Congo en tant que pays pilote de ce projet dans la région COMIFAC.

Le modèle utilise une base de données mondiale qui a été enrichie avec des données nationales (voir www.redd-pac.org pour une description de la base de données). Dans le modèle, les changements d'utilisation des terres sont provoqués par une augmentation (ou une diminution) des besoins locaux et mondiaux en nourriture, en bois, et en bioénergies suivant les projections de croissance de la population et de croissance économique qui ont été faites par d'autres institutions (ex : les Nations Unies). Les besoins supplémentaires peuvent être satisfaits par une augmentation des terres utilisées (ex : déforestation), par une augmentation de la productivité des terres utilisées (ex : augmentation des rendements) ou par l'importation de produits. Les changements d'usage des terres se traduisent en changement de contenu de carbone des terres (émissions de carbone dans l'atmosphère) et en changement d'étendue de l'habitat de certaines espèces qui pourrait entraîner une perte de biodiversité dans certaines zones et à l'échelle nationale (**Error! Reference source not found.**).

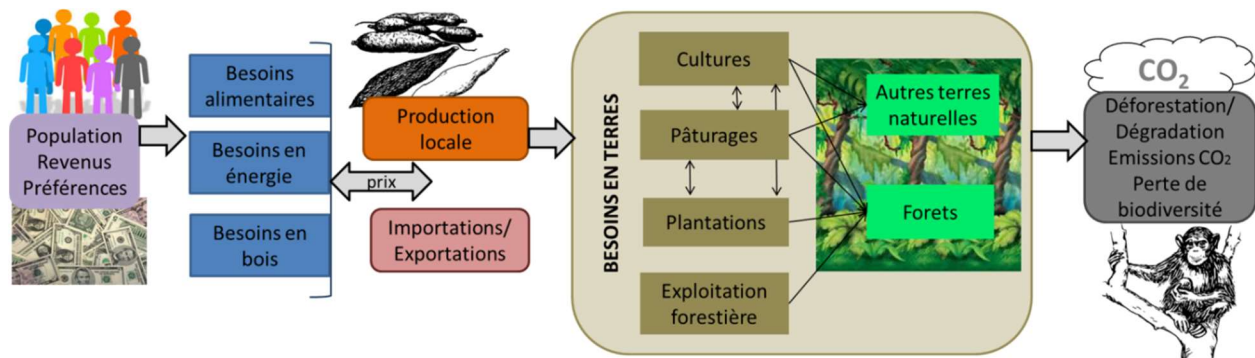


Figure 1 La déforestation future dépend des besoins futurs en nourriture, en bois et en énergie dans le modèle CongoBIOM

Les principales caractéristiques du modèle GLOBIOM sont les suivantes.

- **Modèle d'équilibre de marché** : Les ajustements des prix conduisent à l'égalité entre la consommation et la production moins les exportations plus les importations pour chaque produit et chaque région. GLOBIOM est construit sur les principales hypothèses de la

théorie économique néoclassique : les agents prennent des décisions qui leur fournissent la plus grande satisfaction, l'augmentation de la satisfaction devient plus faible au fur et à mesure que les agents achètent ou vendent plus, et il y a un équilibre unique à savoir les agents n'ont pas intérêt à modifier leurs actions une fois que l'équilibre est atteint.

- **Modèle d'optimisation** : L'objectif du problème d'optimisation est de maximiser la somme du surplus⁴ des consommateurs et des producteurs sous un certain nombre de contraintes, notamment la contrainte d'équilibre du marché. Une contrainte qui est très importante est la contrainte sur les disponibilités des terres : dans chaque unité spatiale la quantité totale de terres est fixe. Ainsi, pour augmenter la surface utilisée il faut donc soit diminuer une autre utilisation ou convertir des terres naturelles en terres productives s'il y en a encore de disponible. Certaines contraintes peuvent également permettre d'intégrer des objectifs non économiques des agents tels que la satisfaction des besoins alimentaires au niveau local (autoconsommation).
- **Modèle d'équilibre partiel** : Contrairement à un modèle d'équilibre général qui englobe tous les secteurs de l'économie, GLOBIOM se concentre sur quelques secteurs dont la terre est le principal facteur de production : les cultures, l'élevage, la foresterie et les bioénergies. Ces secteurs sont en concurrence pour l'utilisation des terres.
- **Modèle d'équilibre spatial** : C'est une catégorie spécifique de modèle d'équilibre partiel où les biens sont considérés homogènes : si deux marchands vendent des arachides à des prix différents sur le marché, le consommateur va toujours acheter les arachides qui sont le moins cher (pas de différenciation selon la qualité). Ceci va conduire à une égalisation des prix sur le marché indépendamment de l'origine du produit : si le produit est importé, alors les coûts de production dans le pays d'origine plus les coûts de transport et les tarifs doivent être égaux aux coûts de production locaux. Ainsi, les pays exportateurs doivent toujours avoir des coûts de production plus faibles que les pays importateurs, et ce d'autant plus que les coûts de transport et/ou les tarifs sont élevés.
- **Modèle récursif dynamique** : GLOBIOM est exécuté pour chaque période de 10 ans à partir de l'année 2000 (année de base). Contrairement à des modèles entièrement dynamiques, les gains ou les pertes qui peuvent survenir au-delà de 10 ans ne sont pas anticipés par les agents. La décision optimale à la période t dépend seulement des décisions prises pendant les périodes précédentes. Ainsi, dans GLOBIOM, au début de chaque période de simulation (2010, 2020, 2030), l'utilisation des terres est mise à jour en prenant en compte les changements qui ont eu lieu la période précédente tandis que la demande est ajustée pour prendre en compte l'augmentation des besoins due à la croissance de la population et du PIB à la période suivante.

⁴ Le surplus des consommateurs est une évaluation monétaire de la satisfaction qu'ils retirent de leurs consommations. C'est la somme, pour toutes les unités consommées de tous les produits représentés dans le modèle et pour tous les consommateurs, des différences entre leur disposition marginale à payer et le prix de marché.

L'originalité de GLOBIOM vient de la représentation des moteurs de changement d'utilisation des terres à deux échelles géographiques différentes : toutes les variables liées à la terre, c'est-à-dire le changement d'utilisation des terres, les surfaces cultivées, la production de bois et le nombre de têtes d'élevage sont représentées au niveau de pixels, mais la demande finale, les quantités transformées, les prix, et le commerce sont calculés au niveau régional. Cela signifie que dans GLOBIOM, *les facteurs régionaux influencent l'utilisation des terres au niveau local, et les contraintes locales influencent également le résultat des variables définies au niveau régional* tandis que la cohérence est assurée au niveau régional par la contrainte d'équilibre de marché et au niveau local par la contrainte de terres disponibles (Figure 2).

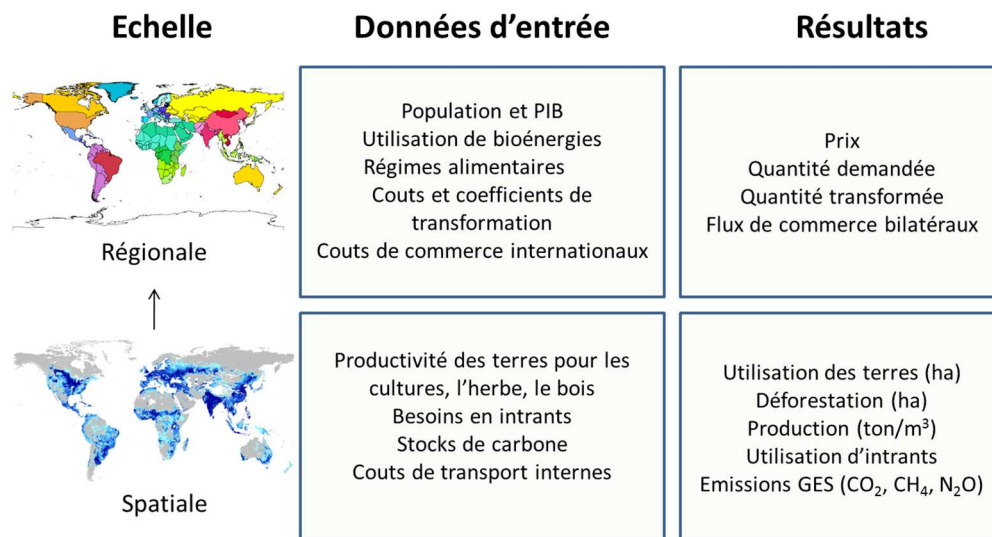


Figure 2. Principales données d'entrée et de sortie du modèle GLOBIOM a différentes échelles

Dans GLOBIOM, toutes les données spatiales d'entrée sont disponibles au niveau de l'unité de simulation. La Figure 3 montre comment les unités de simulation ont été construites. Les unités de simulation sont définies par la combinaison de pixels de taille de 5 ArcMin qui sont dans un même pays (ligne hachurée), un même pixel de taille de 30 ArcMin (grille bleue), et une même unité d'intervention homogène (HRU- *Homogenous Response Units*) (il y a 4 HRUs dans la figure de gauche représentées par les surfaces orange, violette, verte et jaune). Les unités d'intervention homogènes (HRU) sont définies par des caractéristiques biophysiques qui sont stables dans le temps et sur lesquelles les producteurs ont peu de moyens d'influence : l'altitude (5 classes), la pente (7 classes), et le type de sol (5 classes). L'unité de simulation sert de base à la fois pour les simulations du modèle biophysique EPIC qui calcule les potentiels de productivité pour 17 cultures, et du modèle économique GLOBIOM. Il y a en tout 217 707 unités de simulation à l'échelle mondiale dont la taille varie entre 5 et 30 ArcMin (dans l'exemple ci-dessous, 27 unités de simulation sont représentées avec chacune une couleur différente dans l'image de droite).

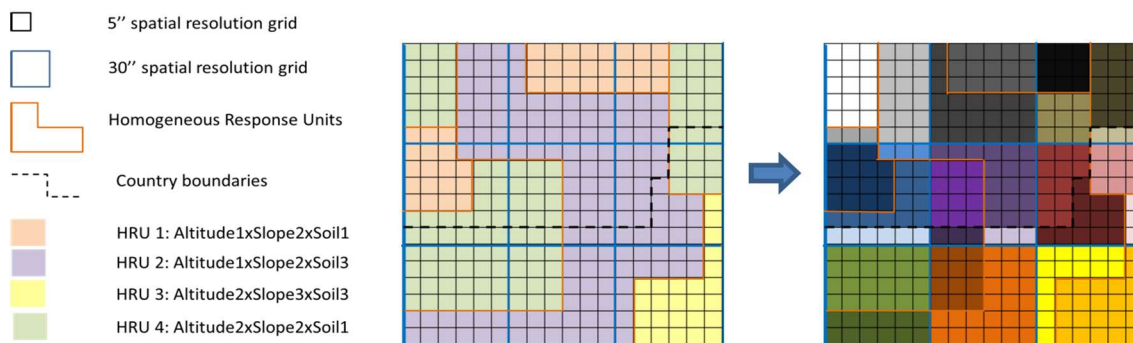


Figure 3. Eléments utilisés pour la délimitation des unités de simulation

GLOBIOM représente directement la production à partir de quatre types d'utilisation des terres - les terres cultivées, les pâturages, les forêts gérées et les plantations d'arbres à courte rotation- par des fonctions de production Leontieff⁵. Les productivités et les coûts de production varient selon le potentiel biophysique et le type de management (Herrero et al, 2008 ; Sere et Steinfeld, 1996). Actuellement, 18 cultures, cinq produits forestiers et six produits de l'élevage (4 types de viande, les œufs et le lait) sont inclus dans le modèle.

En résumé, les principaux avantages de GLOBIOM pour informer la planification de la Stratégie REDD+ et l'élaboration du niveau de référence sont :

- La **déforestation est le résultat de changements de production et de consommation** ce qui permet de plus facilement vérifier la validité des estimations et d'éviter de « gonfler » artificiellement la déforestation future. Il peut y avoir des raisons non-productives pour la déforestation telles que l'étalement urbain ou la spéculation foncière mais l'influence de ces facteurs est généralement beaucoup plus faible. Le potentiel productif de la terre qui est un important déterminant de la demande totale en terres agricoles est calculé sur la base des caractéristiques biophysiques qui peuvent beaucoup varier d'une région à l'autre dans un pays.
- La **déforestation calculée au niveau sous-national est parfaitement cohérente avec la déforestation au niveau national** puisque cette dernière est calculée comme la somme de la déforestation dans chaque unité géographique du pays. La déforestation calculée au niveau sous-national dépend de l'interaction de facteurs qui interviennent à différentes échelles. Par exemple, au niveau local, l'utilisation actuelle des terres, le climat et le type de sol, la distance à la ville la plus proche sont des facteurs qui vont influencer les résultats du modèle. Tandis qu'au niveau national, l'augmentation de la population et du PIB, et l'évolution de la compétitivité avec d'autres régions du monde vont être des facteurs qui vont influencer le niveau de la demande pour les produits locaux. De plus, le niveau de

⁵ La fonction de production de type Leontieff est une fonction de production où les intrants sont parfaitement complémentaires. Cela signifie que la part de chaque intrant pour la production d'une unité de produit est fixe.

déforestation dans une région dépend également de ce qui se passe dans les autres régions du pays.

- ***La spatialisation des résultats est importante pour le calcul des émissions totales.*** Les émissions liées à la déforestation et à la dégradation forestière dépendent de la localisation du contenu carbone de la forêt qui est détruit. Le contenu carbone varie beaucoup entre une forêt sèche ou une forêt dense humide par exemple. Les impacts sur la biodiversité seront aussi différents selon la zone qui est affectée par les futurs changements d’usage : l’habitat de certaines espèces peut être limité à une seule région du pays. Enfin, la spatialisation des résultats peut guider les stratégies d’aménagement du territoire, notamment en identifiant les zones nécessitant une action prioritaire pour limiter la déforestation tout en poursuivant le développement économique.
- La modélisation permet une ***meilleure compréhension des mécanismes complexes sous-jacents à la déforestation et la dégradation forestière*** avec parfois des résultats contre-intuitifs mais valides dus à des interactions entre plusieurs facteurs.

2.2 Le modèle Congobiom

GLOBIOM avait déjà été adapté au contexte des pays du Bassin du Congo (CongoBIOM) en 2010 afin d’explorer l’évolution des émissions issues de la déforestation et de la dégradation forestière jusqu’en 2030 (Megevand et al, 2013 ; Mosnier et al, 2014). C’était un modèle régional couvrant 6 pays : le Cameroun, la République du Congo, la République Centrafricaine, la République Démocratique du Congo, le Gabon et la Guinée Equatoriale, et relié aux autres régions du modèle par le commerce.

Les résultats montraient un fort impact du développement des routes sur la déforestation qui était trois fois plus élevée après la réalisation des routes planifiées en 2030. Contrairement au résultat attendu, l’amélioration de la productivité agricole augmentait également la déforestation dans le Bassin du Congo. La chute des prix qui résultait de l’introduction de pratiques plus performantes stimulait la consommation alimentaire au-delà de la production atteignable par le seul progrès technique, devant ainsi être satisfaite en partie par une augmentation des terres cultivées. L’augmentation de la demande en biocarburants ou l’augmentation de la consommation de viande au niveau mondial entraînait également une augmentation de la déforestation dans le Bassin du Congo car cela faisait augmenter les prix mondiaux des produits agricoles. Le prix des importations étant plus cher, la production locale augmentait à travers une expansion des terres agricoles pour pouvoir compenser une réduction des importations alimentaires.

Enfin, l’introduction d’une limite sur les émissions issues de la déforestation au niveau mondial montrait une forte réduction de la déforestation en premier lieu dans le Bassin du Congo, où le coût d’opportunité de la terre était moins élevé que dans les autres régions tropicales. Cependant, sans mesures complémentaires pour stimuler la production agricole, cela entraînait une augmentation des prix alimentaires dans la région et une augmentation des importations alimentaires. Dans le cas où une politique de limitation des émissions était introduite dans les autres pays mais pas dans le

Bassin du Congo, les résultats montraient un risque important de fuite (« leakage ») des émissions vers le Bassin du Congo ou la déforestation augmentait.

Les principales limites de l'étude qui avaient été soulignées par les participants à l'atelier de restitution de l'étude étaient :

- « Les politiques sont prises au niveau des pays et pas au niveau de la région, il serait donc souhaitable de développer des modèles nationaux pour informer le processus REDD+. »
- « L'élevage s'étend dans les zones non-forestières et pousse les cultures dans la forêt. Il faudrait intégrer les activités d'élevage dans le modèle. » L'élevage est maintenant représenté de manière explicite (Havlík et al., 2014).
- « Les gouvernements de la région cherchent à développer les mines qui pourraient devenir un facteur de déforestation dans le futur. » Nous avons essayé de collecter des données sur le secteur minier dans le Bassin du Congo. Cependant il reste difficile de faire des projections sur le développement futur des mines sur la base des permis d'exploration qui ont été attribués.
- « Il y a besoin de plus de renforcement de capacités dans le Bassin du Congo sur les questions de REDD+. » Plusieurs ateliers, au niveau sous régional et au niveau national ont été tenus à la fois pour présenter les résultats et discuter des hypothèses du modèle mais également afin d'améliorer la compréhension des mécanismes de déforestation et de dégradation forestière et leur quantification dans l'approche de modélisation.

Dans le cadre du projet REDD-PAC, la région COMIFAC est reliée aux autres régions de GLOBIOM : la République du Congo, la République Démocratique du Congo, le Sud qui inclut le Gabon et la Guinée Equatoriale, le Nord qui inclut le Tchad la République Centrafricaine et l'Est qui inclut le Rwanda et le Burundi (Figure 4).

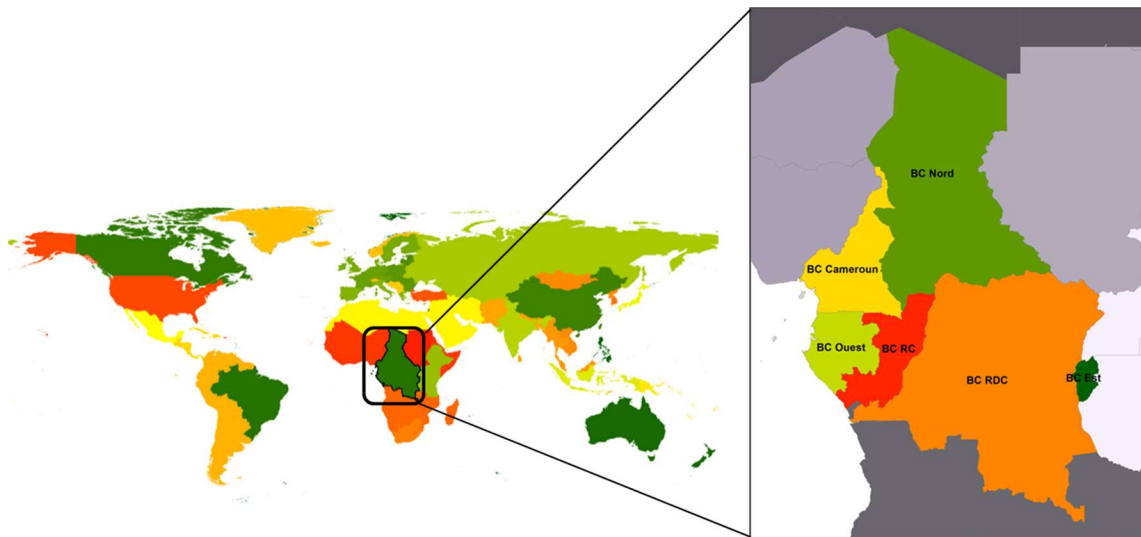


Figure 4. Le modèle GLOBIOM-Congobiom comme un sous-ensemble du modèle GLOBIOM

2.3 Carte de végétation

Il est très important pour les travaux de modélisation d'avoir une bonne représentation de la situation de départ. Pour GLOBIOM cela correspond à l'année 2000 tandis que les projections du modèle pour 2010 nous permettent d'évaluer la performance du modèle, c'est-à-dire si les résultats du modèle sont proches de ce qui s'est passé dans la réalité. La carte de couverture végétale forme la première couche d'information du modèle. La carte qui est utilisée par défaut dans GLOBIOM est la carte de Global Land Cover (GLC) qui a été réalisée par le Centre de Recherche Commun de la Commission Européenne (ou JRC pour Joint Research Center) pour l'année 2000. Les cartes de couverture végétale sont réalisées en analysant les données satellite, or l'analyse de ces données est compliquée par la forte couverture nuageuse dans le Bassin du Congo et la petite taille du défrichement des forêts liées à l'agriculture de subsistance.

Pour les pays de la COMIFAC, 4 cartes de végétation ont été analysées : GLC2000, Globcover, MODIS et UCL2010. Une première étape afin de pouvoir mieux comparer les cartes existantes a été de les agréger dans les mêmes classes de végétation. On distingue les classes de végétation suivantes : les terres cultivées, les prairies, les forêts humides, les forêts sèches, les forêts inondées, les autres zones inondées et les autres terres naturelles. Enfin, il a été décidé d'utiliser plutôt une carte hybride où plusieurs cartes peuvent être mélangées pour représenter au mieux une certaine classe de couvert végétal ou une certaine région. Le choix de la meilleure carte de végétation pour chaque zone a été réalisé avec les experts locaux. La répartition spatiale des principaux types de couverture végétale est présentée dans la Figure 5. Les surfaces obtenues par type de végétation et par pays sont présentées dans le Tableau 1 et la Figure 6.

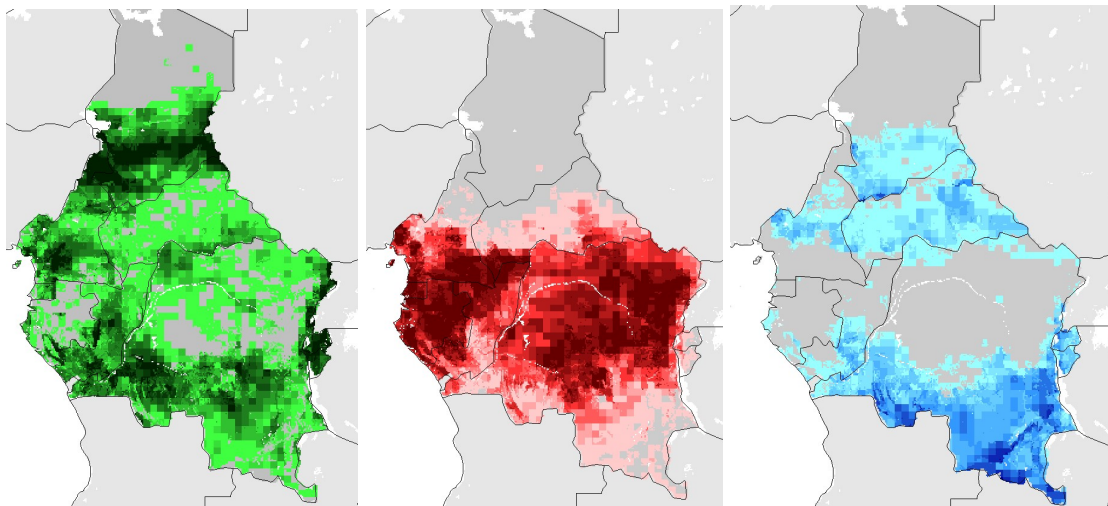


Figure 5 Carte de végétation hybride: part des cellules en % occupées par les terres cultivées (à gauche), les forêts denses hors forêts inondées (au centre) et les forêts sèches (à droite)

Tableau 1 Surface par type de couverture végétale après réalisation de la carte hybride en millions d'hectares

	Terres agricoles/ Mosaïque	Total forêts	Forêts humides	Forêts sèches	Forêts inondées	Savanes inondées	Non pertinent	Autres terres	Total
Cameroun	8.1	20.2	18.9	1.2	0.2	0.1	0.5	17.3	46.3
RCA	1.6	10.5	7.0	3.5	0.0	0.0	0.2	49.6	61.9
RDC	20.6	150.1	111.0	30.9	8.3	0.6	1.6	55.7	228.6
Congo	3.2	23.6	18.4	1.0	4.2	0.0	0.2	7.0	34.0
Guinée Eq.	0.2	2.4	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6
Gabon	1.3	22.4	22.1	0.1	0.1	0.0	0.2	2.1	26.0

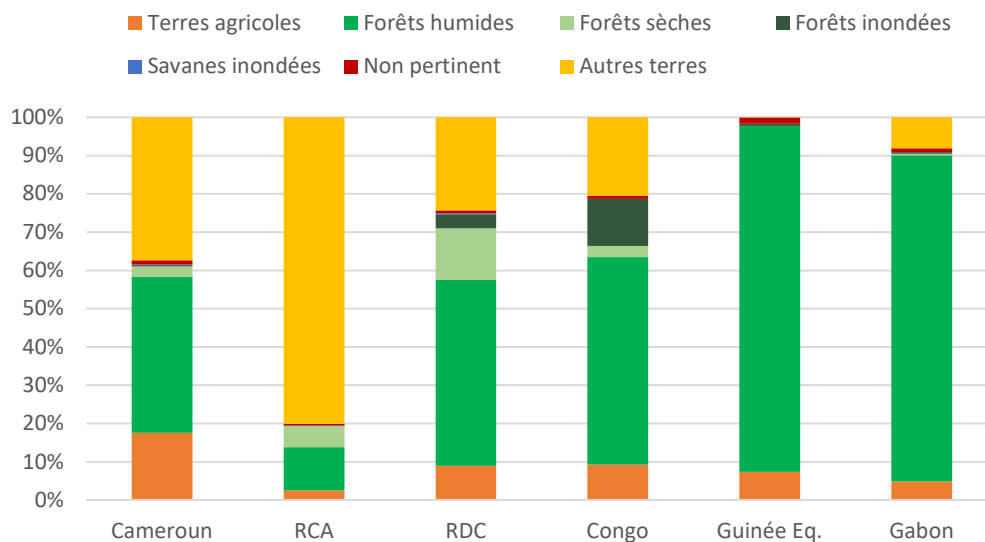


Figure 6 Répartition du territoire de chaque pays par type de couverture végétale après réalisation de la carte hybride

2.4 Les concessions forestières et les aires protégées

Nous observons parfois un chevauchement des concessions forestières et des aires protégées dans la plupart des pays de l'Afrique Centrale. Afin d'assurer la même superficie totale par unité spatiale, dans le cas où la surface sous concessions plus la surface sous aire protégée dépasse la superficie totale de l'unité de simulation, nous faisons l'hypothèse que la surface forestière à l'intérieur de l'aire protégée est exploitée par le concessionnaire forestier et la surface est donc retirée de la surface initiale de l'aire protégée. Cela explique pourquoi la surface d'aires protégées dans le modèle peut être inférieure à la surface officielle (Tableau 2).

Tableau 2 Aires protégées par type de couvert végétal en millions d'hectares après rétrocession des zones de chevauchement avec les concessions forestières

	Forêts	Forêts humides	Forêts sèches	Forêts inondées	Autres terres	Total
Cameroun	3.9	3.6	0.1	0.1	1.2	5.1

RCA	0.9	0.4	0.5	0.0	6.5	7.4
RDC	19.7	15.9	2.9	0.9	4.3	24.2
Congo	2.8	2.3	0.2	0.4	0.5	3.3
Guinée Eq.	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5
Gabon	2.7	2.6	0.0	0.1	0.1	2.8

Les aires protégées sont ensuite réparties par classe de végétation : dans le modèle, 76% de la superficie des aires protégées sont comprises dans la classe forêts dont 72% dans la classe de végétation « forêts humides ». Nous rappelons ici que les forêts exploitées dans le modèle correspondent uniquement aux concessions forestières. Nous faisons l’hypothèse que ces forêts sont gérées durablement, c’est-à-dire avec des taux de prélèvement qui assurent une disponibilité constante de la ressource dans le futur. Ce mode d’exploitation est en train de se généraliser dans le Bassin du Congo avec le développement des plans d’aménagement. Nous ne prenons en compte que les forêts humides à l’intérieur des concessions forestières. La surface de base dans la classe « forêts exploitées » peut donc être inférieure à la surface totale sous concessions forestières si les concessions englobent également d’autres types de végétation comme par exemple des zones de forêts inondées. Les concessions forestières non attribuées et les forêts communales sont intégrées dans la classe « forêts non exploitées ».

A part dans les scénarios où l’inverse est indiqué (section 6), il n’y a pas de déforestation possible dans les aires protégées et les concessions forestières.

2.5 Surfaces cultivées et jachères agricoles

Le manque de statistiques agricoles avec une couverture sous-nationale et régulièrement mises à jour est un réel problème dans le pays de la COMIFAC. Il n’y a que pour le Cameroun et la RDC où nous avons eu accès à des statistiques sous-nationales. Pour les autres pays, nous avons du nous contenter des données disponibles sur le site de la FAO au niveau national.

Dans les systèmes de production traditionnels, les jachères constituent un moyen important pour lutter contre les maladies et restaurer la fertilité du sol. Pour obtenir les surfaces agricoles totales, il faut donc ajouter les jachères aux terres cultivées. Nous observons généralement que le temps de jachère diminue avec la densité de population. On considère trois seuils de densité de population et nous définissons pour chaque classe un temps de jachère spécifique qui semble cohérent avec les observations de terrain qui ont été faites dans le cadre du projet CoForTips (Figure 7) :

- pour une densité de population en-dessous de 20 habitants par km², 2 ans de mise en culture sont suivis de 7 ans de mise en jachère (*coefficient multiplicateur des terres cultivées est égal à 4.5*),
- pour une densité de population entre 20 et 30 habitants par km², 2 ans de mise en culture sont suivis de 5 ans de mise en jachère (*coefficient multiplicateur des terres cultivées est égal à 3.5*),

- pour une densité de population au-dessus de 30 habitants par km², 2 ans de mise en culture sont suivis de 3 ans seulement de mise en jachère (*coefficient multiplicateur des terres cultivées est égal à 2.5*).

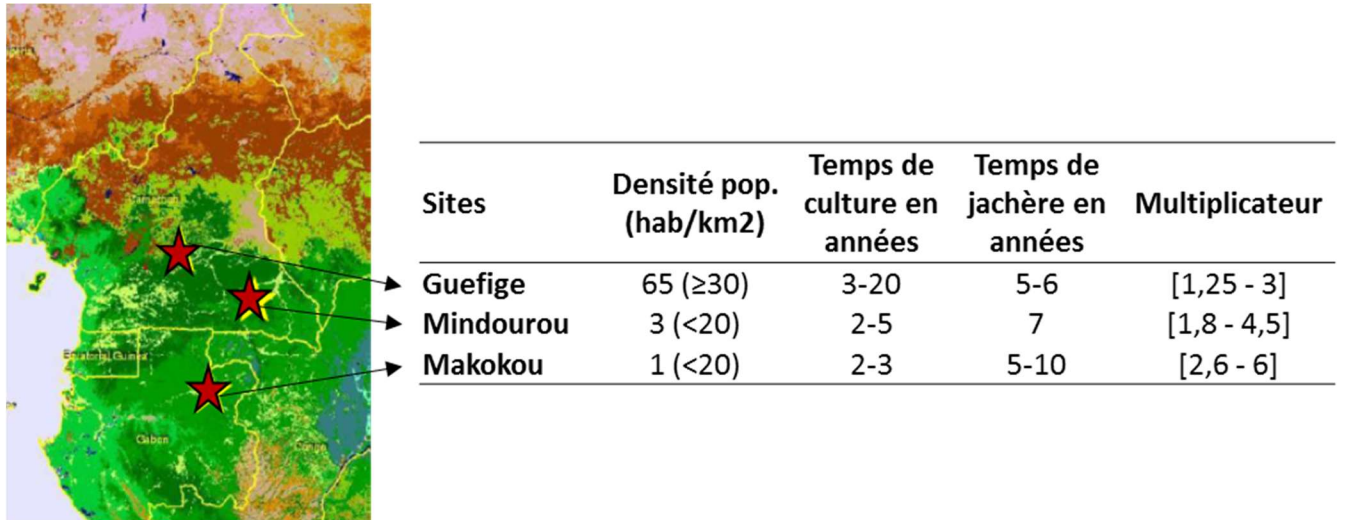


Figure 7 Sites du projet CoForTips, densité de population et temps de jachère (Source : Gillet, 2016)

Nous utilisons les cartes de densité de population au niveau de grilles de 0.5 degrés (~50x50km) pour 2000 et pour chaque décennie (Figure 8). Lorsque la densité de population augmente dans le futur, le temps de jachère diminue, et les rendements associés également.

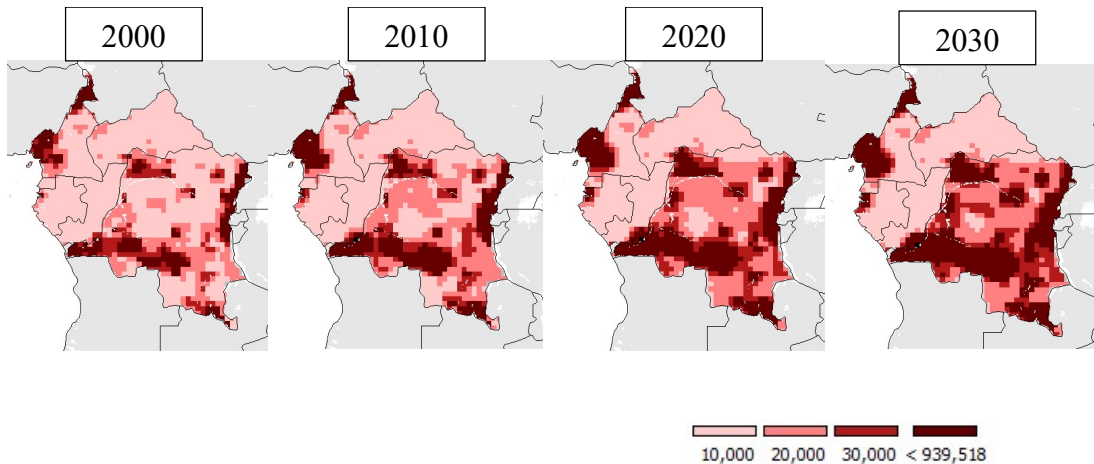


Figure 8 Projection de la densité de population en nombre d'habitants par km² entre 2000 et 2050 dans le Bassin du Congo (source: IIASA/POP)

Le temps de jachère varie également en fonction des zones agro-écologiques et des cultures. La restauration de la fertilité des sols à travers des jachères longues est particulièrement répandue dans les zones de forêt humide mais dans les zones de savane, le temps de jachère est généralement

moins long. Nous avons fait l'hypothèse que dans les zones sèches et tempérées, le temps de jachère était de seulement deux ans. Pour le palmier à huile, le cacao, le café et les bananiers, nous ne prenons pas en compte les jachères.

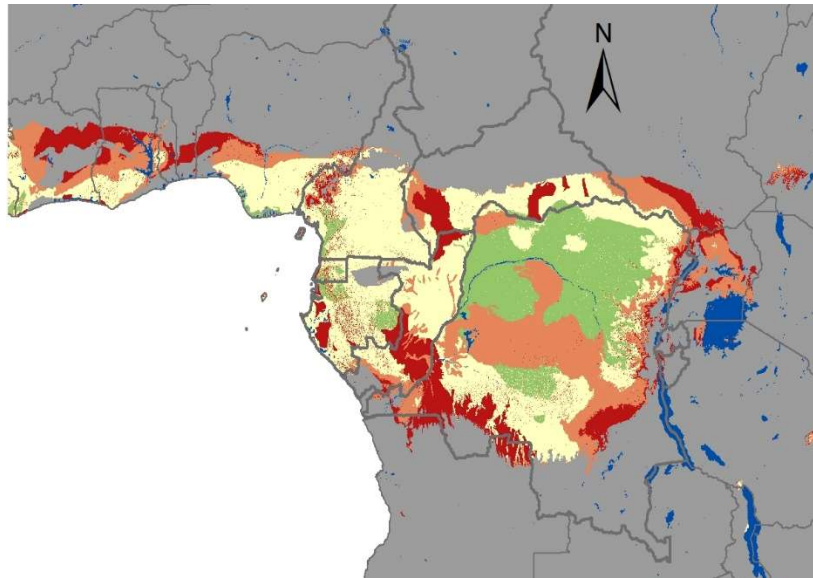
2.6 Potentiel du palmier à huile

De plus, afin d'améliorer la représentation et la possible expansion de la culture du palmier à huile dans le modèle, nous avons réalisé une carte mondiale de potentiel pour la culture du palmier à huile sur la base des contraintes biophysiques (Pirker & Mosnier, 2015). Nous avons effectué une revue de la littérature afin d'établir les seuils minimum, optimum et maximum pour chaque critère biophysique. L'indicateur global est ensuite obtenu selon la loi du minimum c'est-à-dire qu'il prend la valeur du facteur le plus contraignant⁶. Comme plusieurs contraintes naturelles peuvent être levées avec certaines techniques de production, nous avons calculé le potentiel de production du palmier à huile selon deux cas : le premier reflète le cas des plantations agro-industrielles ou nous faisons l'hypothèse que des techniques de gestion adéquates peuvent être mobilisées (« gestion optimale »), et le deuxième cas reflète plutôt les petits producteurs qui n'ont pas les moyens d'investir dans le capital nécessaire pour aménager au préalable les plantations et qui restent donc limités par les contraintes naturelles (« gestion minimale »). Les critères biophysiques qui sont pris en compte sont listés ci-dessous.

- Le **climat** : quatre facteurs climatiques sont particulièrement importants pour le palmier à huile notamment la température moyenne, la température moyenne pendant le mois le plus froid de l'année, les précipitations annuelles et le nombre de mois qui reçoivent moins de 100 mm de précipitations.
- Le **type de sol** : plusieurs types de sols peuvent être problématiques pour la culture du palmier à huile : les sols naturellement pauvres en nutriments (*ferrasols* et *acrisols*), les sols salins, les sols très sableux qui ont peu de capacité de rétention d'eau (*podsoles*), les sols rocheux qui empêchent une bonne prise des racines, les sols tourbeux, et les zones humides fréquemment inondées.
- La **topographie** : les terrains avec une forte pente augmentent le coût et l'effort de maintenance et de récolte sur les plantations ainsi que le risque d'érosion. Les zones d'altitude sont également moins propices due à des températures moins élevées.

D'après cette analyse les zones potentiellement les plus favorables à la culture du palmoer à huile selon les critères bio-physiques sont le long de la côte atlantique au Cameroun, en Guinée Equatoriale, dans le Nord Ouest et Sud Estdu Gabon et dans le cœur de la RDC (Figure 9).

⁶ Le document qui renseigne plus en détail la méthodologie pour établir les zones potentielles de production du palmier à huile peut être téléchargé sur le lien suivant: http://www.iiasa.ac.at/publication/more_IR-15-006.php.



Source : Pirker et Mosnier (2015)

Figure 9. Carte de potentiel biophysique du palmier à huile en République du Congo (de vert = très fort potentiel a rouge : faible potentiel et gris foncé: non propice)

3 Calcul des émissions de gaz à effet de serre

3.1 Emissions liées au changement d'utilisation des terres

Le calcul des émissions des Gaz à Effet de Serre (GES) liées au changement d'utilisation des terres repose sur le niveau d'équilibre de carbone dans chaque type de végétation. Les estimations en carbone dans la biomasse vivante au-dessus et au-dessous du sol de (Kindermann, McCallum, Fritz, & Obersteiner, 2008) sont utilisées par défaut dans GLOBIOM pour le carbone contenu dans la forêt. Ces estimations sont ajustées pour correspondre à l'inventaire carbone de FRA-FAO 2010 pour chaque pays. Pour les plantations forestières à courte rotation (ex : eucalyptus, peuplier, pin), le contenu carbone est calculé sur la base de leur productivité potentielle. Pour le carbone contenu dans les autres terres naturelles, on utilise la carte de biomasse de (Ruesch & Gibbs, 2008). En utilisant cette approche, le contenu carbone varie entre les types de végétation et entre les unités spatiales. Les émissions de CO₂ (ou la séquestration de CO₂) sont calculées comme la différence entre le contenu carbone du type de végétation finale et du type de végétation initiale. Par exemple, pour la déforestation due à l'expansion des terres cultivées, comme le contenu carbone des terres cultivées est supposé nul, les émissions seront égales au contenu carbone de la forêt dans la biomasse au-dessus et au-dessous du sol dans une certaine unité spatiale. Dans cette étude, nous ne prenons pas en compte le carbone dans la litière, le bois mort, et le sol en-dehors de la biomasse vivante.

Etant donné l'importance du calcul des émissions dans le cadre de REDD+, nous avons décidé d'utiliser des cartes de biomasse alternatives pour calculer les émissions issues de la déforestation. Deux cartes pantropicales sur la biomasse dans la végétation ligneuse au-dessus du sol ont été intégrées à notre base de données : (Baccini et al., 2012) du Wood Hole Research Center (WHRC) et (Saatchi et al., 2011) de la NASA. Les deux utilisent des données d'entrée similaires sur la hauteur des forêts et la structure de la canopée obtenues à partir de LiDAR, mais utilisent différentes données de terrain pour la calibration et des méthodes de modélisation spatiale différentes (Mitchard et al., 2013). Cela a pour conséquence d'importantes différences dans les estimations de la biomasse entre les deux cartes, particulièrement pour le Bassin du Congo⁷. Les auteurs soulignent le fait que le contenu carbone des deux cartes tend à converger au niveau national mais comme les émissions liées à la déforestation dépendent fortement de la localisation de la déforestation, le choix d'une carte ou de l'autre peut significativement affecter les émissions issues de la déforestation calculées au niveau national.

Les cartes du WHRC et de la NASA ne prennent en compte que la biomasse au-dessus du sol. Nous estimons la biomasse vivante en-dessous du sol en fonction de la biomasse vivante au-dessus du sol en prenant en compte les coefficients estimés par Mokany et al. (2006) : pour les forêts tropicales humides au-dessus de 125 tC/ha, la valeur médiane de la biomasse au-dessous du sol est

⁷Les cartes de biomasse peuvent être comparées sur Geo-Wiki : <http://biomass.geo-wiki.org/>.

de 23.5% de la biomasse au-dessus du sol. Pour comparaison, l'intervalle de confiance fourni par le GIEC est un rapport entre 6% et 33% entre la biomasse au-dessous du sol et la biomasse au-dessus du sol.

3.2 Emissions liées à la dégradation de la forêt

Bien qu'il existe trois grands types d'activités qui ont été identifiées comme causes majeures de dégradation de la forêt : l'exploitation forestière formelle, la collecte informelle de bois d'œuvre et la collecte informelle de bois de chauffe, nous ne présentons dans cette étude que les émissions liées à la dégradation des forêts dans les concessions formelles préalablement identifiées.

D'après les mesures de Pearson et al. (2014) dans une concession de la Sangha dans le Nord de la République du Congo en 2004, le taux d'extraction moyen était de 9 m³/ha. Les émissions totales liées à l'exploitation sont décomposées en trois facteurs : 0.25 tC/m³ pour le volume de bois prélevé, 0.50 tC/m³ pour les dégâts sur le peuplement résiduel et les résidus d'exploitation et 0.24 pour les émissions liées à la construction des infrastructures. Cela revient à des émissions totales de 0.99 tonne de carbone par m³ exploité. Par rapport aux émissions liées à l'exploitation forestière dans les 5 autres pays tropicaux de leur étude, les émissions issues de l'exploitation forestière dans la concession du Congo sont de loin les plus faibles par unité de bois extraite. Au niveau des émissions par hectare exploité, le Congo reste dans la fourchette basse de l'échantillon de pays considérés avec 8.9 tonnes de perte de carbone par hectare exploité, mais cela est assez comparable avec le Brésil et la Bolivie. Une étude de la FAO a trouvé des résultats assez similaires dans le chantier forestier de la société « Industrie de Transformation des Bois de la Likouala (ITBL) avec 10,2 tonnes de perte de carbone par hectare exploité.

Durrieu de Madron et al. (2011) ont calculé l'impact de différentes pratiques d'exploitation forestière sur les stocks carbone à partir de données d'aménagement issues de plusieurs concessions du bassin du Congo et de la littérature. Ils font l'hypothèse que la mise sous aménagement entraîne: i) la mise en place de séries de protection dans lesquelles il n'y a aucun prélèvement effectué, ii) une augmentation des diamètres minimum des arbres exploitables, iii) une réduction des surfaces occupées par les pistes de débardage et iv) une minimisation des impacts lors de la création des routes et des parcs à grumes. D'après leurs estimations, l'exploitation sous aménagement permettrait de diminuer les émissions de 9 à 10% par rapport à l'exploitation conventionnelle. L'augmentation des diamètres minimums d'exploitation est la principale source de réduction des émissions.

Les facteurs d'émissions utilisés dans cette étude sont présentés dans le Tableau 3 ci-dessous. Les estimations fournies par Pearson et al. sont associées à l'exploitation formelle sous plan d'aménagement. Les émissions liées à l'exploitation formelle conventionnelles sont calculées en augmentant les facteurs d'émission pour les dommages occasionnés par l'exploitation de 10% comme conseillé par Durrieu de Madron et al.

Tableau 3 Facteur d'émission total et par type d'impact pour différents types d'exploitation forestière

Type d'exploitation	tC dans le bois prélevé	tC pour les dégâts engendrés sur le peuplement	tC pour les dégâts engendrés par les infrastructures	TOTAL en tC par m3 de bois extrait
Exploitation formelle sous aménagement	0.25	0.5	0.24	0.99
Exploitation formelle conventionnelle	0.25	0.50x1.1= 0.55	0.24x1.1 = 0.26	1.06

3.3 Emissions/séquestration de carbone liées à l'agriculture

Les émissions liées à l'agriculture comprennent les émissions liées à l'élevage et les émissions liées aux cultures. Les émissions liées à l'élevage sont le méthane (CH₄) qui est émis à travers la fermentation entérique (pendant la digestion des ruminants), et le méthane (CH₄) et l'azote (N₂O) issus du fumier. La comptabilisation des émissions suit l'approche niveau 2 établie par le GIEC, pour chaque espèce, système et région de production (van Wijk et al. 2014; Herrero et al. 2013). Pour les cultures, les sources d'émissions qui sont prises en compte sont l'azote (N₂O) issu de l'application d'engrais chimiques et organiques, et le méthane (CH₄) issu de la culture du riz.

Le modèle BioGeoChemistry (BGC) est utilisé pour simuler la dynamique du carbone sur les jachères en fonction du temps de jachère (4, 7 ou 10 ans) et du type de sol (fertile, normal ou pauvre). Dans BGC, des données météorologiques quotidiennes et des informations sur le site sont nécessaires pour calculer les cycles du carbone, de l'azote, de l'eau et de l'énergie dans un écosystème donné. Les estimations sont faites sur la période 1960-2050 en supposant que la forêt dense humide est défrichée à partir de 1990 pour l'agriculture itinérante. Les résultats sont ensuite utilisés pour estimer la séquestration du carbone sur les jachères. Jusqu'à présent, les émissions dues au déboisement ont été calculées en supposant que les terres cultivées ne contiennent pas de carbone. Selon les estimations du modèle BGC, la séquestration du carbone en jachère sur 30 ans serait comprise entre 50 tC et 127 tC par hectare dans le bassin du Congo, ce qui représente approximativement entre 25% et près de 50% du stock initial de carbone de la forêt. Le taux moyen de séquestration du carbone se réduit par rapport au nombre de cycles de culture (Figure 10). Une réduction de la jachère de 10 ans à 7 ans réduit la séquestration moyenne de carbone entre 13 et 21% et de 7 à 4 ans entre 23 et 29%.

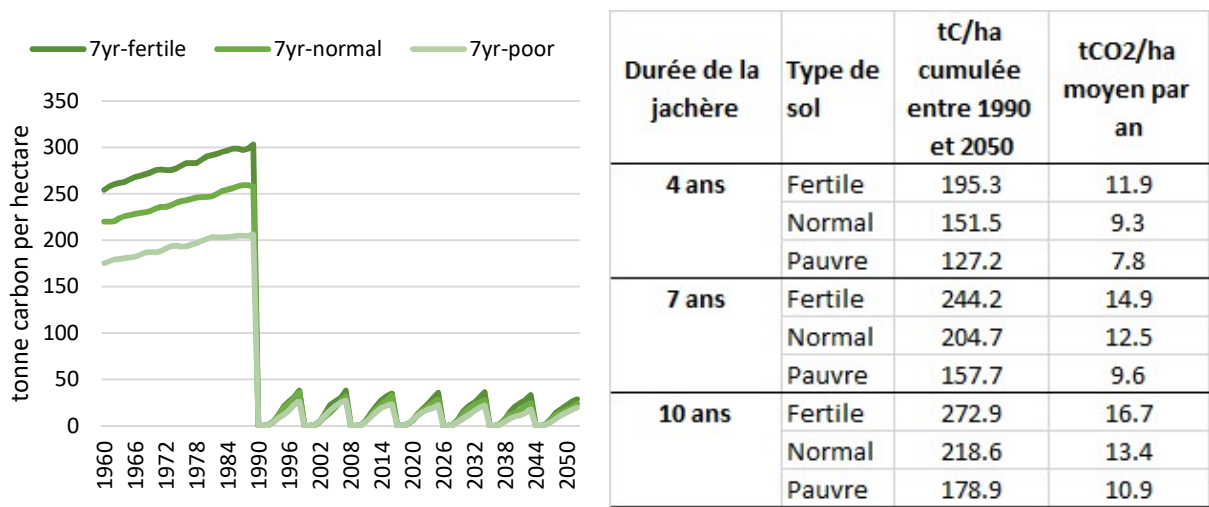


Figure 10 Dynamique des stocks de carbone dans la biomasse vivante en surface et en sous-sol, estimée par le modèle du CGC avant et après le déboisement des forêts pour l'agriculture itinérante avec un temps de jachère de 7 ans et une qualité du sol différente (gauche) et séquestration du carbone sur les jachères sur 30 ans (droite)

4 Calcul des impacts sur la biodiversité

L'un des objectifs de l'analyse REDD-PAC est d'évaluer les liens entre la politique d'utilisation des terres et les impacts potentiels qui en résultent sur la biodiversité et des services écosystémiques, allant à l'encontre de la poursuite des Objectifs d'Aichi pour la Biodiversité. Les changements d'utilisation des terres représentent l'un des principaux facteurs de perte de biodiversité au niveau mondial. La conversion des écosystèmes naturels non seulement réduit leur étendue, mais, ce faisant, peut également provoquer la destruction de la biodiversité qu'ils contiennent et les services écosystémiques qu'ils fournissent, y compris par la perte et la fragmentation des habitats des espèces. Ces impacts dépendent de la localisation et de l'étendue de la conversion, et de la nature des nouvelles utilisations du sol.

Dans cette section, nous présentons plus en détail les méthodes utilisées dans l'évaluation des impacts sur la biodiversité. De nombreuses variables sont potentiellement pertinentes pour l'évaluation des impacts sur la biodiversité et la planification spatiale de la mise en œuvre des Objectifs d'Aichi, selon l'aspect considéré. Des informations sur les changements potentiels dans l'utilisation des terres et la déforestation peuvent être utilisées pour cibler certaines zones pour lutter contre l'appauvrissement des habitats naturels (Objectif d'Aichi 5). Combiner des informations sur la distribution spatiale de la biodiversité, les services écosystémiques et l'utilisation durable de la biodiversité avec des informations sur l'utilisation des terres peut informer la planification d'actions en renfort des Objectifs d'Aichi 12 (éviter l'extinction d'espèces menacées) et 14, respectivement (sauvegarde et restauration des services fournis par les écosystèmes). Le manque de données disponibles dans la région du Bassin du Congo est un problème reconnu ; cependant, plusieurs ensembles de données ont été identifiés dans le cadre de ce rapport.

4.1 Impact sur les écosystèmes

La région de la COMIFAC est divisée en un certain nombre d'écorégions aux différentes caractéristiques écologiques. La distribution des changements d'usage des sols à travers ces écorégions permet d'évaluer l'impact à travers différents écosystèmes et par là, une première évaluation des impacts sur différentes composantes de la biodiversité. Dans le cadre de cette étude nous utilisons les écorégions du WWF (Olson et al., 2001).

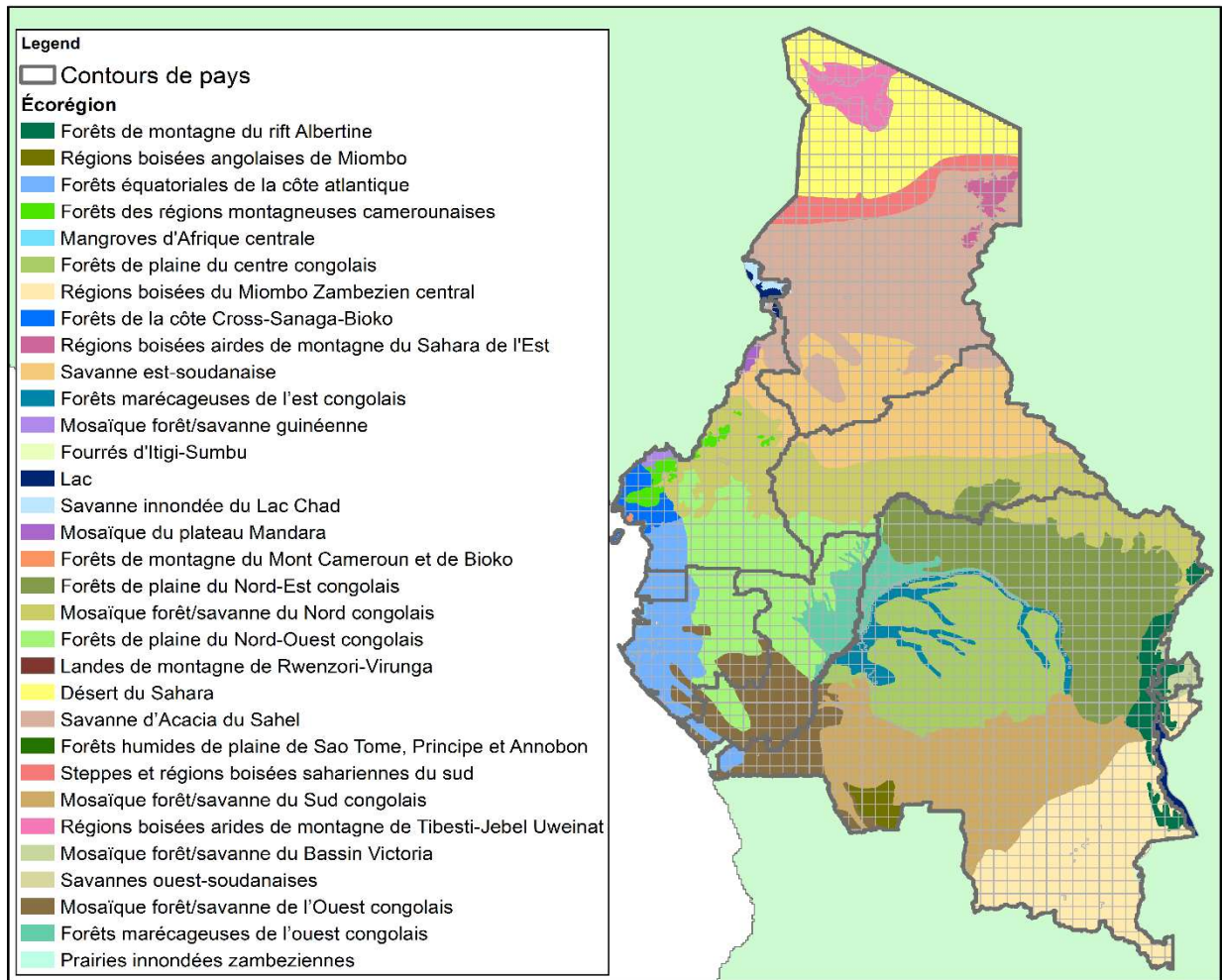


Figure 11. Carte des écorégions de la COMIFAC (la source : Olson et al. 2001)

4.2 Impact sur les espèces

La perte de végétation naturelle (y compris les forêts et les savanes) aura un impact sur les espèces présentes à l'intérieur de ces aires et les valeurs potentielles qu'elles peuvent fournir. Une gamme de différentes espèces et groupes d'espèces peut être d'intérêt, par exemple en raison d'avantages particuliers qu'ils peuvent fournir ou en raison d'objectifs politiques spécifiques ou les deux. Les pays de la COMIFAC abritent quatre espèces de Grands Singes, le chimpanzé, le bonobo, le gorille de montagne (*Gorilla beringei*) et le gorille des plaines occidentales (*Gorilla gorilla*), qui sont fortement dépendantes de la présence de forêts naturelles pour leur habitat et qui présentent un important potentiel pour le développement de l'écotourisme. La distribution de la richesse en espèces peut différer en fonction du groupe considéré et ainsi la sélection des espèces qui présentent un intérêt particulier peut influencer les conclusions des évaluations. L'évaluation des impacts par rapport à toutes les espèces potentiellement présentes permettrait une évaluation complète de l'impact sur la diversité en espèces. Cependant, il est impossible d'obtenir des données précises sur

les exigences de localisation ou d'habitat de toutes les espèces, et de plus, de nombreuses espèces restent encore à découvrir (Pimm et al., 2010).

L'évaluation des impacts sur le groupe des espèces menacées nous semble particulièrement pertinente pour l'objectif d'Aichi 12 (prévention de l'extinction des espèces). Afin que l'analyse spatiale puisse informer la prise de décision et l'élaboration des politiques, il est également important que les groupes d'espèces considérés soient ceux étant les plus pertinents à l'échelle sous régionale. Au niveau sous-régional, l'axe d'intervention du Plan de Convergence pour la Conservation et valorisation de la diversité biologique reprend les objectifs de la CDB et met l'accent sur le renforcement de l'effectivité des aires protégées et la conservation des grands mammifères. Certains de ces grands mammifères font également l'objet d'une attention particulière, déclinée à travers des instruments régionaux additionnels tels que la Déclaration de Kinshasa sur la Protection des Grands Singes ou les différents plans d'action pour l'interdiction du commerce de l'ivoire et le braconnage des éléphants de forêts, en recrudescence ces dernières années (Nellemann et al. 2014). Au niveau national, il est possible de se référer aux textes législatifs afin d'identifier quelles sont les espèces partiellement ou intégralement protégées.

Par conséquent, le projet REDD-PAC a mis l'accent sur l'évaluation des impacts sur les grands singes, espèces identifiées comme menacées par l'UICN et comme une priorité politiques sous-régionale et nationale. Les impacts sont également évalués sur les espèces protégées par la loi, ainsi que pour toutes les espèces confondues pour lesquelles des informations étaient disponibles concernant leur aire de répartition potentielle. En l'absence de données nationales disponibles sur ces aires de répartition potentielles, le projet a utilisé les données recueillies par l'UICN sur les aires potentielles de la plupart des mammifères, oiseaux et amphibiens dans le cadre de l'évaluation mondiale pour la Liste Rouge (<http://www.iucnredlist.org/>). Mammifères, oiseaux et amphibiens sont les groupes pour lesquels les données de l'UICN sont les plus complètes.

Pour évaluer l'impact du changement d'utilisation des terres sur les espèces de manière individuelle, l'un des premiers facteurs à considérer est le besoin en habitat des différentes espèces, qui détermine les impacts probables des changements de l'utilisation des terres. Par exemple, pour les espèces qui dépendent des forêts, la déforestation devrait probablement conduire à l'extinction locale de ces espèces dans la zone déboisée, alors qu'elle aura un impact probablement moindre sur les espèces qui peuvent également survivre dans les pâturages. Les besoins en habitat des espèces sont également inclus dans la base de données de la Liste rouge de l'UICN. L'impact sur les espèces individuelles peut être évalué par le calcul du pourcentage de leur habitat potentiel qui serait perdu d'après les projections du modèle. Sur cette base, il est alors possible d'évaluer l'impact combiné du changement d'usage des terres pour un groupe d'espèces donné en additionnant les impacts individuels sur les espèces de ce groupe.

Afin de comprendre la répartition dans l'espace de l'impact relatif du changement d'utilisation des terres sur les espèces, un indice agrégé a été développé : plus la surface de perte d'habitat est grande, plus cet habitat est partagé par un grand nombre d'espèces, et plus cela représente une grande proportion de l'habitat d'une espèce dans le pays (niveau d'endémisme), plus l'indice d'impact sur les espèces sera grand. La Figure 12 présente la méthodologie adoptée pour le calcul de cet indice composite de « changement combiné de l'habitat pour les espèces » :

- On part de la cartographie sur l'éventail des espèces étudié. On calcule la répartition de l'habitat de chaque espèce en tenant compte de leur degré d'endémisme dans chaque cellule (le calcul la proportion de l'aire potentielle dans chaque cellule donne un score plus élevé aux espèces à l'aire restreinte, ici représentées en gris foncé).
- On utilise les futurs changements de végétation calculés par le modèle GLOBIOM, notamment là où la végétation potentiellement convenable pour chaque espèce est détruite pour une mise en production des terres.
- On calcule là où chaque espèce perd (ou gagne) en habitat potentiel et la proportion de leur habitat que cela représente (représenté ici par les différents tons de couleur rouge)
- On fait la somme de la perte (ou gain) en habitat potentiel pour toutes les espèces.

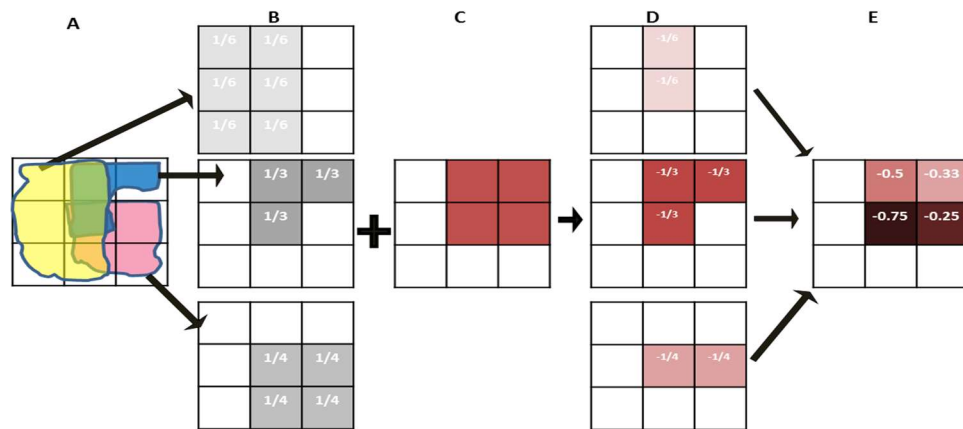


Figure 12. Méthode de calcul pour l'indice composite de changement combiné de l'habitat pour les espèces

4.3 Impact sur les produits forestiers non-ligneux

Les forêts sont importantes non seulement pour la valeur intrinsèque de la biodiversité qu'elles accueillent mais également pour les services qu'elles procurent aux populations locales et plus largement à l'économie des pays à fort couvert forestier. Par exemple, les produits forestiers non-ligneux, le bois-énergie, ou encore le bois d'œuvre contribuent d'une manière significative à la subsistance locale et aux économies nationales dans le bassin du Congo (Ingram 2012). Des études récentes confirment l'importance du revenu que les populations locales tirent de ces produits forestiers (Angelsen et al. 2014). Cependant, très peu de données sont disponibles dans la région pour quantifier la variation spatiale des PFNL de manière continue, ou celle des services écosystémiques de manière plus générale.

Des informations récentes ont cependant pu être identifiées pour certaines espèces dont le *Prunus africana*, un arbre dont l'écorce est largement utilisée en tant que produit médicinal (Vinceti et al. 2013). Dans l'idéal, la détermination de zones prioritaires pour ces PFNL devrait être complétée par l'ajout d'informations sur l'utilisation réelle de ces ressources par les populations locales. Cependant, combiner ces informations sur les zones propices à la récolte des produits du *Prunus* avec celles sur les aires de perte probable du couvert forestier permet de déterminer l'ampleur de

l'impact de différents scénarios sur ce service écosystémique potentiel et les zones où cet impact pourrait se produire.

Les informations sur le Prunus sont disponibles en termes de la probabilité de Prunus qui peut être trouvée dans différentes zones. Cette information sur la probabilité peut être divisée en zones où il est fort probable que le Prunus soit rencontré (probabilité de présence supérieure à 50%) et les zones où il est possible qu'il soit rencontré (entre 13% et 50% de probabilité). Comme expliqué dans les sections précédentes, GLOBIOM fonctionne à partir de cellules de taille 30'x 30 '(environ 50x50km). Des hypothèses doivent donc être faites pour fusionner les deux ensembles de données. Nous prenons l'exemple d'une cellule qui est complètement couverte de forêt et où il est probable de trouver du Prunus dans la moitié de la cellule. L'impact de la perte de 25% de la forêt de la cellule dépend du fait de connaître si le changement se produit à l'intérieur ou à l'extérieur des zones où se produit le prunus. Nous supposons que les changements de la couverture terrestre sont répartis uniformément, indépendamment du lieu où le Prunus est prévu de se produire.

5 Description des scénarios

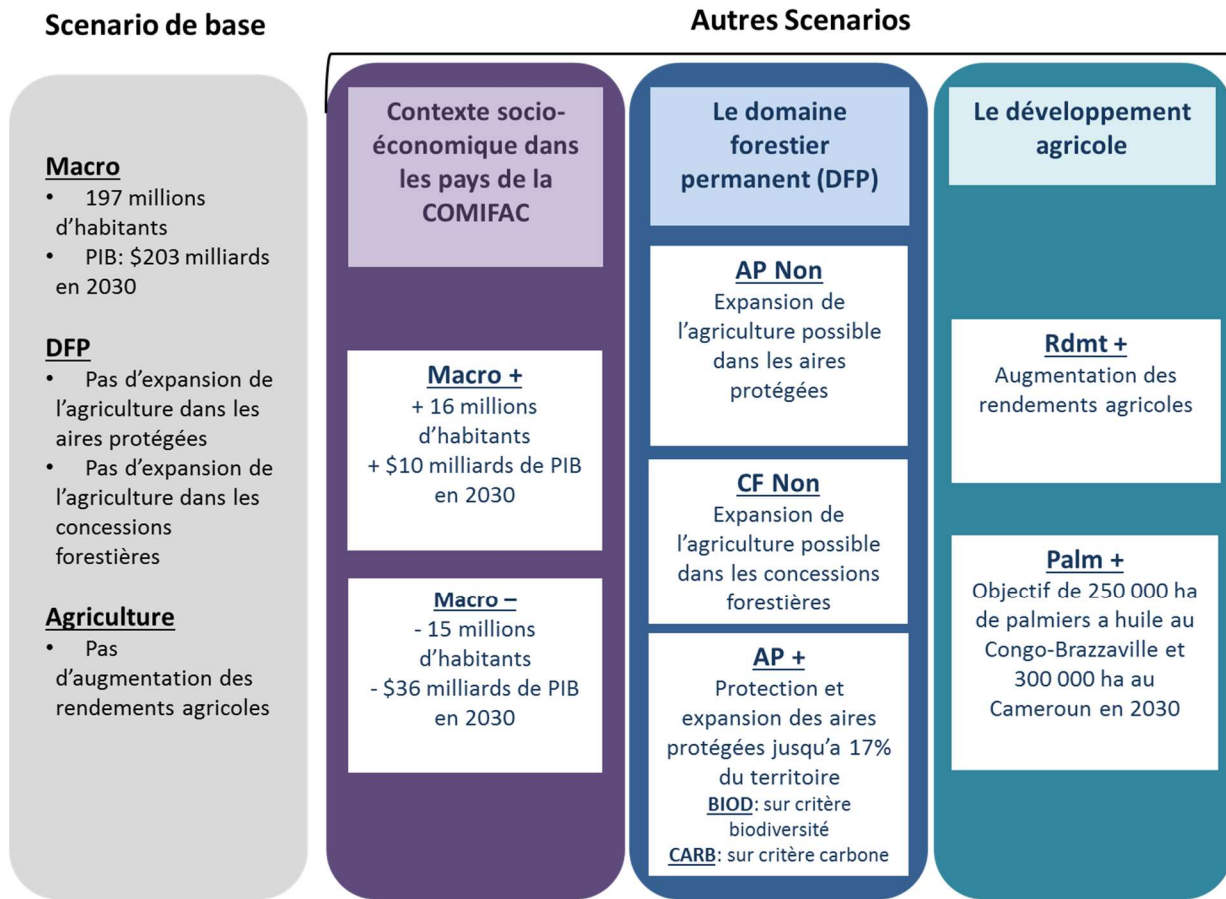


Figure 13. Les hypothèses du scénario de base sont présentées à gauche tandis que les changements introduits dans chaque scénario sont décrits à droite (un scénario par boîte blanche)

5.1 Contexte socio-économique

L'évolution de la population et l'évolution du PIB dépendent de facteurs qui ne sont pas représentés dans le modèle. La population future dépend des taux de natalité, des taux de mortalité et de la migration. Les politiques peuvent avoir un impact sur ces trois facteurs. Par exemple elles peuvent encourager la natalité par des subventions associées à chaque enfant ou freiner la natalité, tel que cela a été fait par exemple à travers la politique de l'enfant unique en Chine. Plus les projections vont loin dans le futur et plus l'incertitude associée aux projections de population est grande. Pour le PIB, l'incertitude est encore plus grande car cela dépend de l'évolution d'un ensemble complexe de facteurs qui ne sont pas tous du ressort d'un pays mais également des pays qui l'entourent.

Dans la perspective de l'élaboration du 5e rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), un groupe international de sociologues et

d'économistes ont développé des scénarios présentant diverses caractéristiques de développements socio-économiques et diverses stratégies d'adaptation et d'atténuation du changement climatique. Cinq familles de scénarios, nommés SSP (pour Shared Socioeconomic Pathways), ont ainsi été définies (Figure 14)⁸. Pour chaque scénario, des projections de population et de PIB sont effectuées pour chaque pays, résultant en différents niveaux de PIB moyen par tête.



SSP1 : forte coopération internationale et priorité au développement durable

SSP2 : poursuite des tendances actuelles

SSP3 : monde fragmenté affecté par la compétition entre pays, croissance économique lente, politiques orientées vers la sécurité et la production industrielle et peu soucieuses de l'environnement

SSP4 : grandes inégalités entre pays et en leur sein, l'essentiel des émissions de GES est du fait d'une minorité, vulnérabilité au changement climatique d'une grande partie de la population qui reste pauvre

SSP5 : développement traditionnel et rapide des pays en voie de développement fondé sur une forte consommation d'énergie et des technologies émettrices de carbone; recul de l'extrême pauvreté

Source : O'Neill et al. 2013

Figure 14. Trajectoires de développement socio-économiques élaborées dans le cadre du GIEC

Dans le scénario de base, nous utilisons le scénario SSP2 qui reflète « la poursuite des tendances passées ». Le SSP2 est considéré comme un scénario intermédiaire avec une croissance du PIB et une croissance de la population modérées au niveau mondial : d'après ce scénario, la population mondiale devrait augmenter de 20% et le PIB moyen par habitant devrait augmenter de 50% d'ici à 2030.

Scénarios « Macro -> » et « Macro + » : Comme scénarios alternatifs, pour explorer le rôle de la population et du contexte économique sur la déforestation future, nous testons deux scénarios qui combinent différents scénarios SSPs. Ces scénarios ont été souhaités par les participants à l'atelier sous régional de présentation des résultats du projet à Douala en septembre 2015. « Macro + » est la combinaison de la projection de PIB la plus optimiste (SSP1) et la projection de population la plus forte (SSP3) tandis que « Macro- » est la combinaison de la projection de PIB la plus pessimiste (SSP3) et la projection de population la plus faible (SSP1). Cela conduit aux projections de PIB et d'habitants qui sont présentées dans le tableau 4.

Tableau 4 Projections de PIB, de population et de PIB moyen par habitant selon les scénarios à l'horizon 2030 par pays de la COMIFAC

⁸ Ce travail a été réalisé en parallèle et en cohérence du travail des climatologues sur les futures conditions climatiques et les impacts du changement climatique relatifs à différents scénarios d'évolution des concentrations de gaz à effet de serre (GES), d'ozone et de précurseurs des aérosols pour le XXI^e siècle au niveau mondial.

	PIB en millions			Population en millions			PIB/hab en dollar par an		
	BASE SSP2	MACRO- SSP3	MACRO+ SSP1	BASE SSP2	MACRO- SSP1	MACRO+ SSP3	BASE	MACRO-	MACRO+
Burundi	3191	2234	3510	11	11	12	280	209	290
RCA	5508	4006	6009	6	6	7	869	686	886
Cameroun	53791	44271	57124	29	27	31	1873	1656	1834
RDC	42061	32003	46633	105	97	114	399	329	407
Congo	26543	21949	28585	6	6	7	4310	3847	4200
Guinée Eq.	21796	20161	22340	1	1	1	19867	19712	19690
Gabon	17974	17003	18460	2	2	2	8380	8470	8011
Rwanda	14736	11387	16411	18	16	19	841	708	874
COMIFAC	185602	153014	199073	179	165	194	1039	926	1029

Source : auteurs d'après O'Neill et al. 2013

Ces différentes hypothèses de croissance de la population et du PIB ont un impact sur les estimations de demande en produits agricoles (consommation alimentaire) et en bois (construction et bois énergie) dans le modèle. Plus la population est élevée et plus le volume total de la consommation va être élevé. Cependant, le niveau de consommation par habitant va également dépendre du niveau de richesse moyen par habitant (PIB/hab) : plus il va être élevé, plus le volume total de la consommation alimentaire et l'utilisation de matériaux de construction va être élevée et plus on aura un changement dans la structure de la consommation alimentaire avec l'augmentation de la part des viandes et produits laitiers et des aliments à base de blé dans la consommation totale. On observe que si le scénario MACRO- entraîne toujours à la fois une diminution de la population et du PIB/hab d'une amplitude assez similaire, le scénario MACRO+ entraîne parfois une diminution du PIB/hab par rapport au scénario de base (Cameroun, Congo, Guinée, et Gabon) qui va donc avoir tendance à minimiser la hausse de la consommation liée à l'augmentation de la population, mais dans la plupart des cas, seulement un changement faible du PIB/hab. On pourrait donc anticiper que les conséquences du scénario MACRO- seront plus grandes que les conséquences du scénario MACRO+. Néanmoins, les changements de consommation ont tendance à être plus faibles suite à une augmentation des prix que suite à une diminution des prix, particulièrement dans les populations à faible revenu.

Le régime alimentaire de la plupart des pays de l'Afrique Centrale repose principalement sur la consommation de tubercules et de céréales. Cette caractéristique n'est pas tellement répandue dans les autres régions du monde. La consommation moyenne de viande et de produits laitiers est très basse et même si l'augmentation relative qui est anticipée est forte, la viande et les produits laitiers continueront de représenter une faible part de l'apport journalier de calories en 2030. La consommation moyenne par habitant d'œufs, de haricots, de céréales, d'huile et de sucre augmente fortement dans les prochaines décennies, et cela plus particulièrement dans les scénarios où le niveau de PIB moyen par habitant est élevé. De plus, en Afrique, de nombreux ménages ruraux produisent principalement pour satisfaire leur propre consommation. Une contrainte a été introduite dans le modèle afin de représenter ce phénomène : pour chaque département, la production locale de tubercules et de céréales doit être suffisamment élevée pour satisfaire les besoins de la population locale.

5.2 Domaine forestier permanent

Par défaut, la conversion des forêts en d'autres usages n'est pas possible dans les aires protégées et les concessions forestières. Le domaine forestier permanent ne bénéficie pas d'une protection stricte dans nos simulations et peuvent être converties à d'autres usages.

5.2.1 Scénarios alternatifs pour les aires protégées

De nombreuses aires protégées de la sous-région ne sont actuellement pas complètement efficaces faute de moyens.

Scénario « AP Non » : Nous explorons les conséquences du non-respect des aires protégées sur la déforestation. C'est une situation extrême qui ne reflète pas la réalité mais ce scénario peut nous aider à identifier : 1) les aires protégées qui pourraient être menacées par l'expansion des activités agricoles dans les prochaines décennies et où un renforcement de la protection pourrait être envisagé et 2) la contribution potentielle des aires protégées à la lutte contre la déforestation.

Bien que le premier objectif des aires protégées soit la conservation de la biodiversité, leur localisation pourrait aussi dépendre des autres bénéfices écosystémiques associé dont la réduction des émissions de gaz à effet de serre⁹. Deux scénarios ont été développés pour explorer l'impact potentiel d'une augmentation des aires protégées pour couvrir 17% du pays, prenant en compte ces deux objectifs potentiels.

Scénario « AP+ Biod » : les nouvelles aires protégées sont installées dans les zones qui sont soumises aux plus fortes menaces de perte de biodiversité dans les deux prochaines décennies d'après le scénario de base d'ici 2030 (tel que calculé par l'indice composite de « changement combiné de l'habitat pour les espèces », cf. section 5.2.2) et dans les écorégions qui sont actuellement sous-représentées dans le réseau existant d'aires protégées.

Scénario « AP+ Carb » : les nouvelles aires protégées sont installées dans les zones qui ont les émissions les plus élevées dans le scénario de base d'ici 2030.

Les décisions concernant la localisation des nouvelles aires protégées prendront probablement en compte bien d'autres critères, notamment la représentativité des aires protégées et leur connectivité, les coûts d'opportunité et de mise en œuvre, ou encore le consentement des populations autochtones. Cependant, ces scénarios simplifiés peuvent illustrer les impacts potentiels des aires protégées et les arbitrages qui existent dans la poursuite de plusieurs objectifs (carbone et biodiversité) à travers la mise en œuvre d'une politique (l'expansion des aires protégées).

⁹ En réalité la décision de localisation des nouvelles aires protégées est prise en utilisant bien d'autres critères notamment la représentativité des aires protégées et leur connectivité, les coûts d'opportunité et de mise en œuvre, ou encore le consentement des populations autochtones.

5.2.2 Concessions forestières

De plus, dans le passé, il est arrivé que des concessionnaires forestiers seulement intéressés par les gains à court terme soient partis avant la fin du temps de rotation préconisé après avoir exploité intensivement leur concession pendant quelques années seulement. Dans ce cas, le devenir des forêts dans les concessions rétrocédées peut être plus fragile avec notamment le risque d'une conversion des titres de concession forestière en une concession agricole. Avec l'aménagement des concessions forestières, ce risque devrait être maintenant de plus en plus faible mais le problème de la rentabilité à long terme des exploitations forestières est alors posé.

Scénario « CF Non » : Dans ce scénario, nous faisons l'hypothèse d'une rétrocession des concessions forestières existantes dans le domaine forestier non permanent, ce qui résulte en une conversion possible des forêts à d'autres usages après 2010. Evidemment c'est un scénario extrême qui n'est pas réaliste mais qui reflète le risque de rétrocession de certaines concessions forestières. De plus, ce scénario nous permet de quantifier le rôle des concessions forestières pour lutter contre la déforestation en plus de leur rôle économique.

5.3 Développement agricole

5.3.1 Evolution des rendements agricoles

Par défaut dans le modèle, l'évolution des rendements agricoles (en tonne par hectare) est liée à l'évolution du PIB : on suppose qu'une plus grande croissance économique permet un plus grand progrès technologique qui se traduit par des rendements plus élevés (Valin, Havlik, Mosnier, & Obersteiner, 2010). Cependant, quoique l'agriculture continue à prendre de l'envergure au Cameroun et le fera davantage compte tenu des incitations et facilitations gouvernementales dans ce sens, cela se fait davantage par l'utilisation d'engrais chimiques. Ainsi, dans le scénario de base, nous faisons l'hypothèse qu'il n'y a pas de progrès technique permettant une amélioration généralisée des rendements dans les pays de la COMIFAC dans les prochaines décennies c'est-à-dire que la seule possibilité d'augmenter les rendements agricoles dans le modèle est alors à travers l'utilisation d'engrais qui sont coûteux.

Scénario « RDMT+ » : nous utilisons une hypothèse alternative qui est une diffusion du progrès technique dans le secteur agricole grâce à la diffusion de semences améliorées par exemple (Tableau 5).

Tableau 5 Taux de croissance des rendements agricoles dans le scénario RDMT+

	Sur la période 2001-2030
Haricots	12%
Manioc	26%
Mais	41%
Coton	74%
Arachide	34%

Mil	113%
Palmiers à huile	12%
Pommes de terre	33%
Riz	18%
Soja	34%
Sorgho	48%
Canne à sucre	65%
Patate douce	8%
Ble	20%

5.3.2 Objectifs de plantations de palmiers à huile

La production dans la sous région est assurée à la fois par des petits exploitants et par des agro-industries. La fraction la plus importante de la production de palmier à huile est assurée par les agro-industries. Pour la plupart des pays, il y a une volonté politique forte de la part des gouvernements de mettre fin aux importations d'huile de palme pour satisfaire la demande locale. Ceci justifie l'objectif de production de 450 000 tonnes d'huile de palme, correspondant à une superficie de 250 000 ha de plantations à l'horizon 2020 qui est mentionné dans le document de stratégie de développement du secteur rural pour le Cameroun et 250 000 ha de productions annoncés au Congo Brazzaville.

Scénario « PALM+ » : Ce scénario force les surfaces en palmiers à huile à atteindre 300 000 hectares en 2030 pour le Cameroun et 250 000 hectares en 2030 pour le Congo Brazzaville.

6 Validation du modèle sur la période 2000-2010

L'année de base du modèle GLOBIOM-Congobiom est 2000 et le modèle fournit des estimations pour chaque période de 10 ans. La première période pour laquelle GLOBIOM fournit des estimations est donc 2010. De plus en plus de statistiques sont maintenant disponibles pour 2010 que ce soit pour les estimations de la déforestation, l'évolution de la production ou des surfaces cultivées. Dans un premier temps, nous comparons donc nos résultats pour l'année 2010 avec les observations afin de voir si le modèle est capable de reproduire d'une manière satisfaisante les tendances observées sur 2000-2010.

6.1 Comparaison avec la déforestation historique 2001-2010

Pour comparer nos estimations avec la déforestation historique observée, plusieurs cartes ont été utilisées. La première est la carte de Hansen et al. (2013) qui peut être visualisée et téléchargée sur le site de Global Forest Watch (GFW). La perte de couvert forestier annuelle est reportée de 2001 à 2014 pour l'ensemble du monde. Dans la perte de couvert forestier, il peut également y avoir la coupe d'arbres dans les plantations ou dans les concessions forestières. Comme alternative, nous utilisons la carte FACET qui a été produite par l'OSFAC pour la RDC et le Congo, la carte de déforestation pour la région du Centre Cameroun et pour la République du Congo du bureau d'étude GAF, et la carte de déforestation du groupe Airbus pour les autres régions du Cameroun à l'exception du Nord et de l'Extrême qui ont cependant une surface forestière limitée. Nous ajoutons aussi à la comparaison la perte nette de couvert forestier selon la FAO.

Entre 2000 et 2010, le modèle estime une déforestation de 6,1 millions d'hectares pour l'ensemble des pays de la COMIFAC. D'après les données de Hansen et al. (2013) téléchargées sur global forest watch, 6 millions d'hectares ont été déforestés sur cette même période. Le modèle reproduit donc assez fidèlement la déforestation historique au niveau sous-régional.

En termes de répartition spatiale, le modèle tend à surestimer la déforestation historique au Burundi, en RCA, au Cameroun et au Rwanda et à sous-estimer la déforestation historique en RDC, au Congo, au Gabon d'après les données de Hansen (Figure 15). Cependant, les estimations du modèle sont très proches de la déforestation historique telle que mesurée par le bureau d'étude GAF au Congo et FACET en RDC. Par rapport aux données FAO, l'inverse est observé pour le Cameroun et la RDC : le modèle sous-estime la déforestation au Cameroun et surestime la déforestation en RDC. Cela montre que la déforestation historique même « observée » peut varier d'une étude à l'autre, selon la définition de la forêt et la méthodologie qui est utilisées pour créer les cartes de déforestation. C'est un aspect important à prendre en compte dans la procédure d'établissement du niveau de référence : le niveau d'émissions associées à la déforestation historique est le premier point sur lequel les pays doivent prendre position.

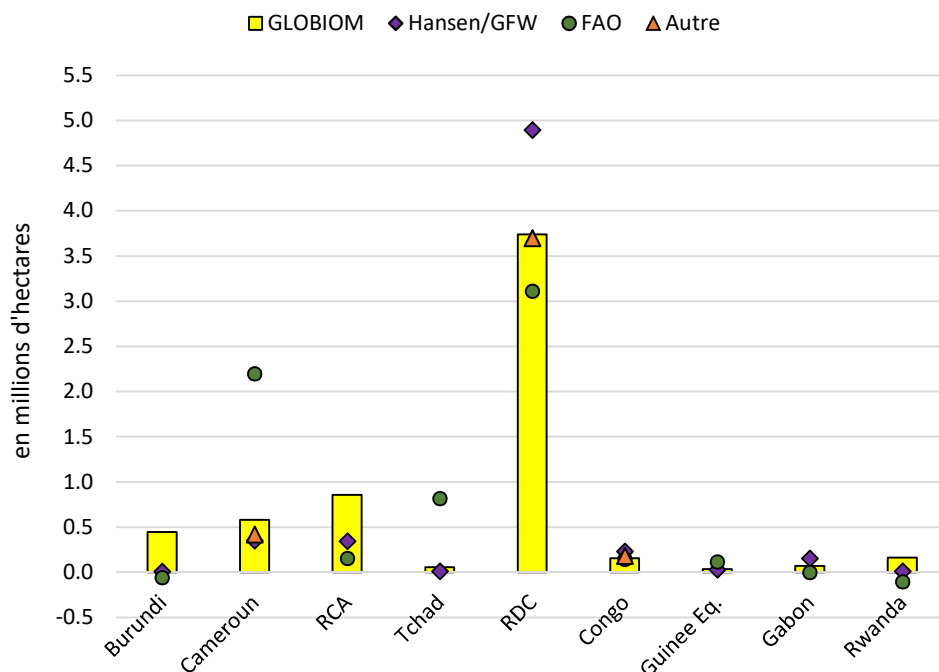


Figure 15 Comparaison de la déforestation calculée sur la période 2001-2010 avec le modèle avec la déforestation historique observée – GFC indique les estimations disponibles sur le site Global Forest Watch, Autre indique Airbus-GAF pour le Cameroun, FACET pour la RDC et GAF pour la République du Congo.

Les raisons pour lesquelles il peut y avoir des différences entre les estimations du modèle et les observations sur la base des données satellite sont :

- Une différence dans la définition de la forêt
- La non-prise en compte de toutes les activités conduisant à la déforestation dans le modèle (ex : les mines)
- Un problème d'allocation de l'expansion des terres cultivées dans d'autres couverts végétaux que la forêt.
- Un problème d'estimation dans le niveau de chaque activité et/ou dans l'allocation spatiale des activités entraînant une déforestation.

Lorsque nous décomposons la déforestation calculée entre 2000 et 2010 par le modèle, on voit que les principales causes de la déforestation varient selon les pays (Figure 16). Dans le Nord de la sous-région (Tchad et RCA), la pression de l'élevage et la culture de l'arachide sont les principales causes de déforestation. En RCA, et encore plus au Cameroun, le maïs et le manioc sont des causes importantes de déforestation. Du fait de la variété des zones agro-écologiques au Cameroun, on remarque également une plus grande variété des causes de la déforestation. Dans les pays dominés par les forêts humides, la Guinée Equatoriale, le Gabon, le Congo et la RDC, le manioc joue un rôle prépondérant dans l'expansion des terres agricoles dans la forêt, même si le maïs et l'arachide jouent également un rôle important. Enfin, quand on va dans l'Est de la région, dans la région des

hauts plateaux du Rwanda et du Burundi, la culture du haricot, de la patate douce et l'élevage sont des facteurs importants d'expansion agricole au détriment des forêts.

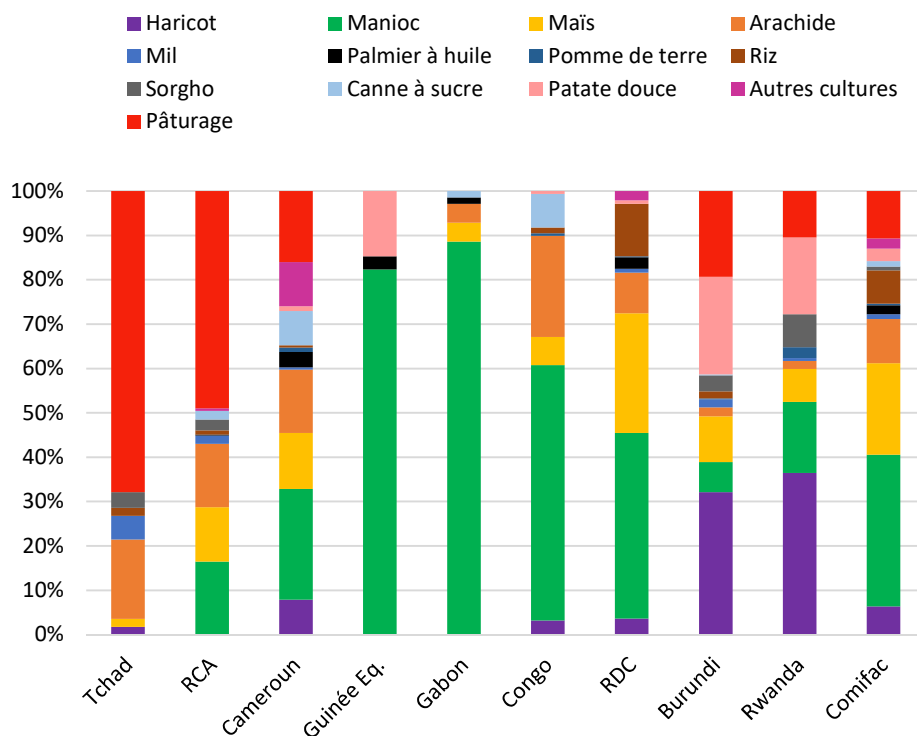


Figure 16 Causes de la déforestation estimée entre 2000-2010 par pays

Nous allons maintenant essayer de voir si ces estimations sont vraisemblables en comparant l'évolution des surfaces cultivées estimées avec les statistiques disponibles.

6.2 Comparaison des surfaces cultivées

Une première remarque est la forte proportion des surfaces cultivées par culture et pays qui sont des estimations de la FAO et une deuxième remarque est la rareté des recensements agricoles dans de nombreux pays de la sous-région qui démontre que même les statistiques officielles peuvent être prises avec précaution.

Alors que les projections d'expansion des terres cultivées en maïs et en riz de GLOBIOM semblent proches des estimations de la FAO, les estimations pour le manioc et pour le sorgho sont inversées : GLOBIOM estime qu'il y a eu une forte augmentation des surfaces en manioc dans l'espace COMIFAC tandis que la FAO estime qu'il y a avant tout eu une forte expansion des terres cultivées en sorgho entre 2000 et 2010 (Figure 17). Cela se traduit également au niveau de la comparaison par pays, avec une forte expansion des terres cultivées prédites par GLOBIOM en RDC alors que d'après la FAO et pour les cultures considérées, il y a eu une diminution des surfaces cultivées en RDC entre 2000 et 2010. Par contre, la FAO montre une forte expansion des terres cultivées au Tchad, qui est principalement expliquée par l'augmentation des surfaces en sorgho.

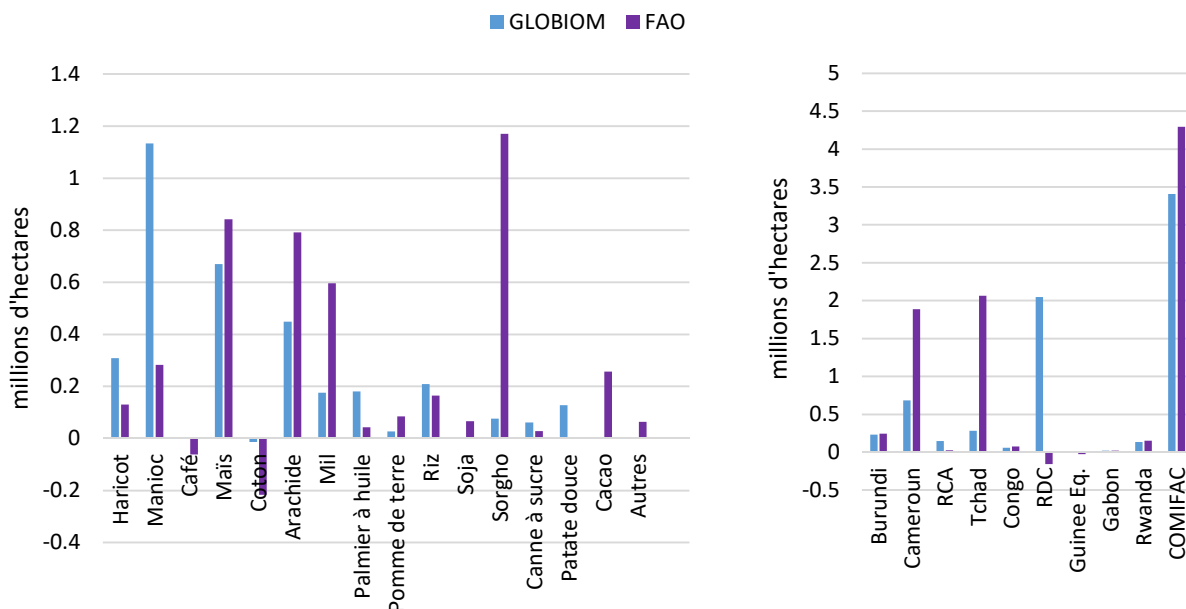


Figure 17 Comparaison entre l'évolution des surfaces cultivées en 2010 et en 2000 par culture dans les pays de la COMIFAC (gauche) et par pays (droite) selon les estimations de GLOBIOM et de la FAO.
Remarque: Seulement les cultures qui sont intégrées dans GLOBIOM sont prises en compte.

Ces différences méritent un détour par la production et la consommation pour comprendre qu'est-ce qui a pu se passer. Il semble qu'il y ait un problème dans les statistiques de production de la FAO par rapport au sorgho au Tchad. En effet, lorsque l'on accède aux données sur les équilibres des produits qui donnent la production mais aussi les différentes utilisations telles que la consommation alimentaire et la consommation animale, l'augmentation de production indiquée est moins de 50% l'augmentation de production indiquée dans les statistiques de production. Par rapport au manioc, les données FAO sur les équilibres ne sont pas disponibles pour la RDC. Le manioc est un aliment de base dans la plupart des zones de la RDC. L'urbanisation croissante entraîne une diminution de la consommation de manioc par habitant même si celle-ci reste élevée. Compte tenu de la forte croissance démographique sur 2000-2010 et l'augmentation du niveau de vie suite à la stabilisation politique dans une grande partie du pays, il est difficilement croyable que les surfaces en manioc aient diminué au cours de la période.

La fiabilité des données agricoles étant limitée pour la plupart des pays de la COMIFAC, l'exercice de comparaison de nos résultats avec les statistiques est intéressant mais son utilité est limitée, c'est-à-dire qu'il nous est difficile de savoir si les divergences entre nos estimations et les données doivent être corrigées.

7 Résultats sur 2010-2030 dans le scénario de base

7.1 Déforestation et autres changements d'utilisation des terres

Selon des projections modérées (SSP2), près de 200 millions de personnes devraient vivre dans les pays de la COMIFAC en 2030, avec une forte augmentation de la population urbaine et du PIB par habitant. Cela engendre une hausse de la consommation locale de produits agricoles qui se traduit par une augmentation des surfaces cultivées. La déforestation dans le scénario de base passe de 6,1 millions d'hectares entre 2000-2010 à 9,2 millions d'hectares sur la période 2021-2030 (Figure 12). En tout, ce sont 16,8 millions d'hectares déforestés entre 2010 et 2030 dans les pays de la COMIFAC soit 0,8 millions d'hectares par an en moyenne ce qui correspond à une augmentation de 40% par rapport à la déforestation historique 2000-2010. D'après nos résultats, les zones les plus touchées par la déforestation sont l'est, le Nord du Bandundu, le Kasai Oriental, le Maniema, le Nord-Ouest de la province Equateur en RDC, le Centre et le Nord de la province de l'Est au Cameroun, et la zone autour de Bangui et quelques points autour de la frontière avec le Cameroun en RCA (Figure 18).

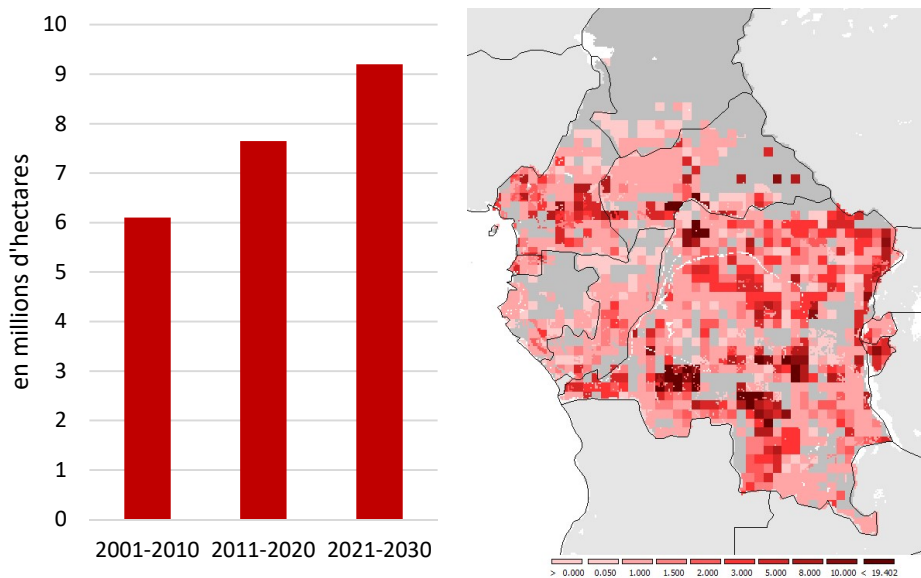


Figure 18 Evolution de la déforestation totale dans les pays de la COMIFAC entre 2000 et 2030 en millions d'hectares (gauche) et localisation de la déforestation cumulée sur la période 2011-2030 en milliers d'hectares (droite)

La déforestation est principalement causée par l'expansion des cultures et pour une faible proportion par l'expansion de pâturages. Les deux tiers de la déforestation viennent de l'expansion du manioc, du maïs et de l'arachide et des jachères associées (Figure 19). Alors que la culture du palmier à huile de 2001 à 2010 a un impact faible sur la forêt, la tendance change considérablement se traduisant par une déforestation de près de 1,3 millions d'hectares sur la période 2020-2030. Le développement du palmier à huile cause particulièrement la déforestation en RDC tandis qu'en RCA, l'expansion des pâturages est la première cause de déforestation.

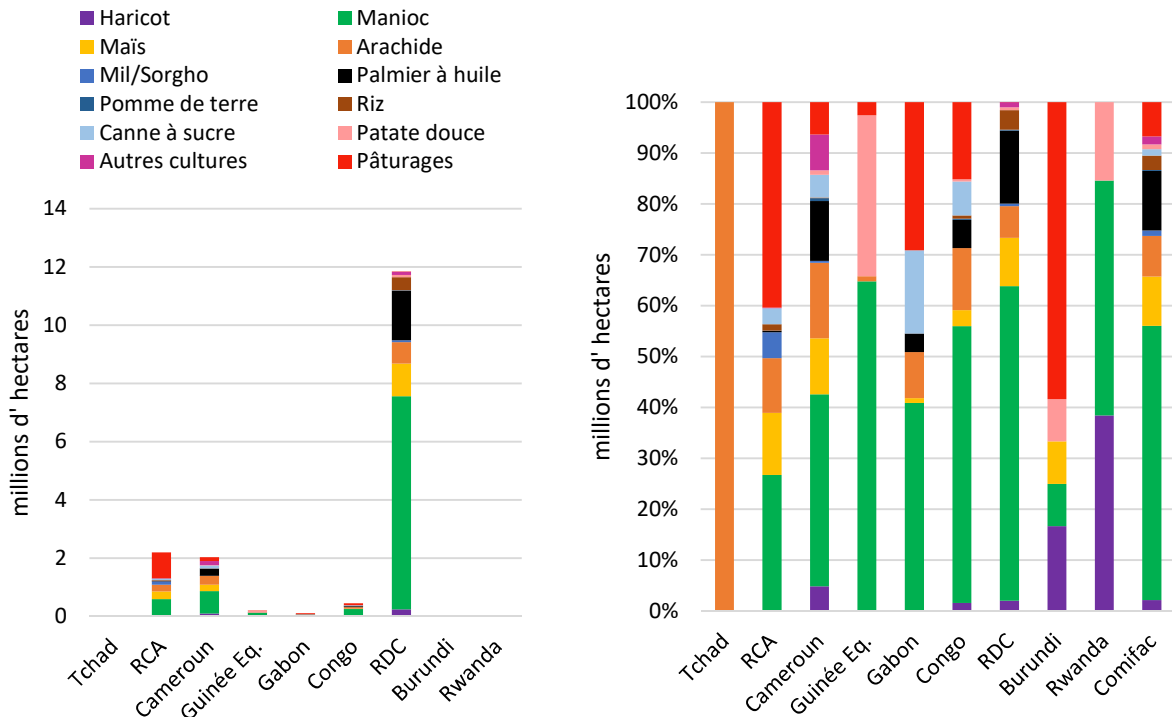


Figure 19 Déforestation cumulée 2011-2030 par pays et par cause en millions d'hectares (gauche) et répartition de la déforestation par pays par cause en % (droite)

Nous remarquons également une forte augmentation de la conversion des autres terres naturelles en terres cultivées : environ la moitié de l'expansion des terres cultivées a lieu dans les autres terres naturelles sur la période 2021-2030 (Figure 20). Sur les 6,8 millions d'hectares convertis soit en terres cultivées soit en pâturages, 33% se trouvent en RDC, 30% au Tchad, et 26% au Cameroun.

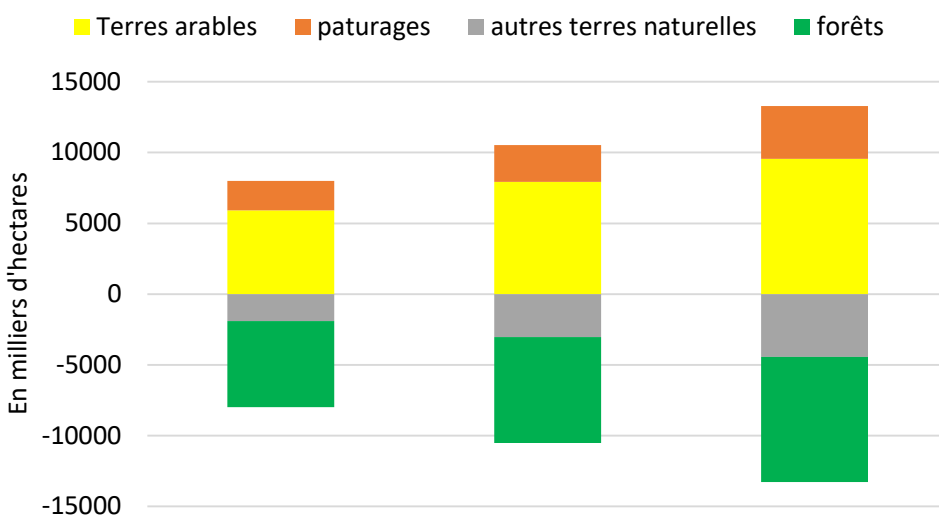


Figure 20 Conversion ou expansion des différents types d'occupation des sols pour chaque période de simulation (période de 10 ans). Comme la surface de terre totale est fixe, la somme de ces changements est égale à zéro pour chaque période.

7.2 Emissions

Nous utilisons quatre cartes de biomasse alternatives pour calculer les émissions issues de la déforestation (cf. section 4). Nos résultats montrent des émissions issues de la déforestation varient entre 7 et 12 GtCO₂ sur la période 2011-2030 selon les cartes de biomasse utilisées (Figure 21). Ainsi, le choix de la carte de biomasse mène à une différence significative de 154% des émissions cumulées issues de la déforestation au niveau sous régional sur la période 2011-2030. Les émissions sont les plus élevées en utilisant la carte de biomasse de Baccini et al. (2012) et la moins élevée en utilisant les données FAO-FRA spatialisées par Kinderman et al. (2008). En raison de la plus grande surface de forêts déforestées sur la période 2011-2030, la RDC est responsable de plus des deux tiers des émissions de tous les pays de la COMIFAC (71-72%). Vient ensuite le Cameroun, qui représente entre 10 et 18% des émissions issues de la déforestation des pays de la COMIFAC selon la carte de biomasse utilisée.

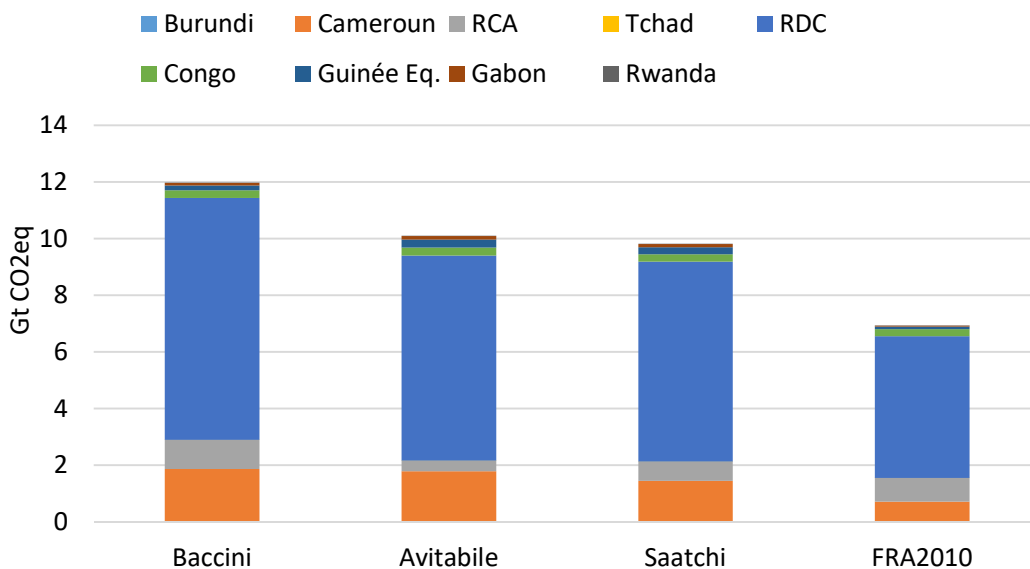


Figure 21 Emissions issues de la déforestation par période de 10 ans et cumulées sur la période 2010-2030 en utilisant différentes cartes de biomasse

Cependant, la densité en carbone des forêts qui sont converties à d'autres usages dans le modèle semble être la plus élevée en Guinée Equatoriale et au Gabon avec une moyenne de 1011 et 831 tCO₂/ha en moyenne, suivie par le Cameroun (712 tCO₂/ha) et seulement après la RDC (589 tCO₂/ha) (Tableau 6).

Tableau 6 Evolution des facteurs d'émissions pour la déforestation par pays et selon la carte de biomasse utilisée en tCO₂ par hectare déforesté

	Baccini	Avitabile	Saatchi	FRA2010	Mermoz	Moyenne
COMIFAC	710	599	582	412		576
Burundi	322	108	353	371		288
Cameroun	914	877	706	345	717	712
RCA	469	168	312	384		333
Tchad	221	34	182	161		149
RDC	722	612	597	423		589
Congo	604	630	571	544		587
Guinée Eq.	863	1422	1275	486		1011
Gabon	800	1166	1045	312		831
Rwanda	560	460	504	333		464

Source : calcul des auteurs

Il y a également des émissions liées à la conversion des autres formations végétales que les forêts. On estime que la conversion des autres terres naturelles engendre l'émission de 1,2 Gt de CO₂ sur la période 2011-2030 soit 12% environ des émissions liée à la déforestation.

Les émissions liées à l'exploitation forestière si on suppose une exploitation conventionnelle et une stabilisation des surfaces sous concessions à celles d'aujourd'hui (44 millions d'hectares), s'élèvent à 595 millions de tCO₂ sur la période 2011-2030. Le Gabon représente 45% des émissions totales liées à l'exploitation forestière dans tous les pays de la COMIFAC car il est le premier pays producteur de grumes. Si maintenant on suppose une exploitation forestière à faible impact, on obtient des émissions totales de 555 millions de tCO₂ issues de l'exploitation forestière dans les concessions. Les émissions issues de l'exploitation forestière représentent entre 4,5% et 8,5% des émissions issues de la déforestation dans les pays de la COMIFAC selon la carte de biomasse utilisée pour calculer les émissions issues de la déforestation et le type d'exploitation forestière.

On comptabilise également les émissions issues de l'agriculture et de l'élevage. Dans les pays de la COMIFAC, la mécanisation de l'agriculture est marginale et l'utilisation d'engrais est également limitée. Ainsi, les émissions liées aux cultures sont faibles : on estime qu'elles s'élèvent à 130 millions de tCO₂ sur la période 2011-2030 pour tous les pays de la COMIFAC. Les émissions issues de l'élevage sont principalement dûes au rejet de méthane pendant la digestion des bovins et à l'azote dans le fumier. On estime que les émissions issues de l'élevage s'élèvent à 406 millions de tCO₂ sur la période 2011-2030 dans les pays de la COMIFAC, principalement dû aux activités d'élevage dans le Nord de la région, au Tchad, en RCA et au Cameroun. En tout, les émissions issues de l'agriculture et de l'élevage sont donc équivalentes aux émissions issues de l'exploitation forestière dans les concessions.

Les surfaces en jachères séquestrent du carbone, particulièrement lorsqu'un temps de repos long permet la régénération de la végétation naturelle. Les surfaces en jachères augmentent jusqu'en 2030 sù à l'augmentation des terres cultivées, mais moins que proportionnellement car on observe

une plus grande expansion des cultures associées avec des jachères plus courtes (moins de 5 ans). La séquestration du carbone dépend à la fois des surfaces en jachères et du temps de jachère : on estime que sur la période 2011-2020, entre 1 et 1,6 Gt de CO₂ pourraient être séquestrés selon la fertilité des sols sous jachères et entre 1,2 et 1,9 Gt de CO₂ entre 2021 et 2030 (Figure 22). En tout, sur la période 2011-2030, cela pourrait compenser entre 19 et 50% des émissions liées à la déforestation selon la carte de biomasse qui est utilisée et la fertilité des sols.

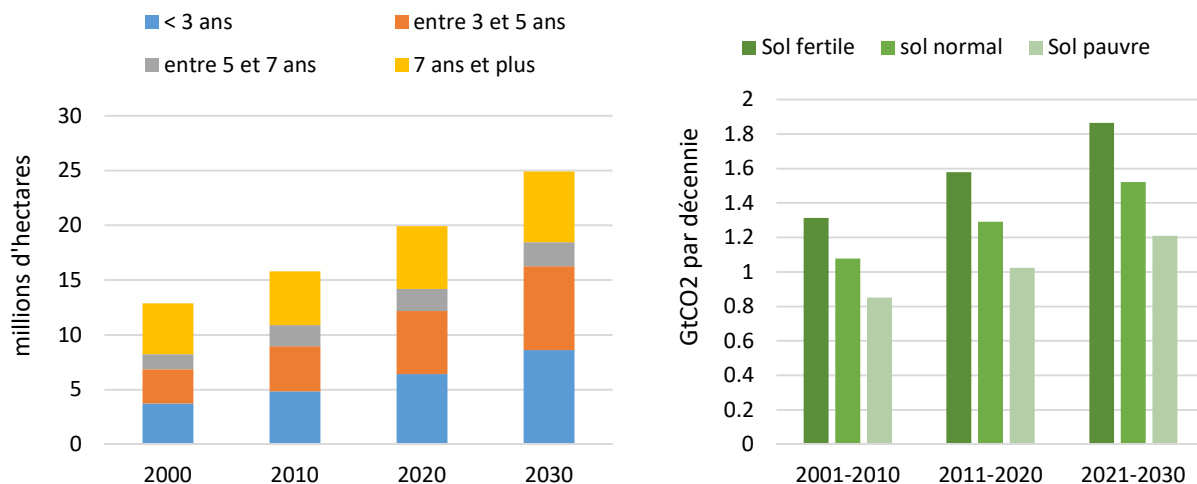


Figure 22 Surfaces en jachères par classes d'âge dans les pays de la COMIFAC (gauche) et séquestration de carbone dans les jachères par décennie dans les pays de la COMIFAC (droite)

Ainsi, quand on calcule les émissions totales sur la période 2011-2030 en prenant en compte la déforestation, la conversion des autres terres naturelles, l'exploitation forestière et l'agriculture, on obtient un total de 10,6 Gt CO₂ (Figure 23). Les émissions issues de la déforestation sont une moyenne des émissions obtenues avec les cartes de biomasse de Saatchi, Baccini et Avitabile. La séquestration de carbone sur les jachères a été calculée en utilisant une hypothèse de sols moyennement fertiles.

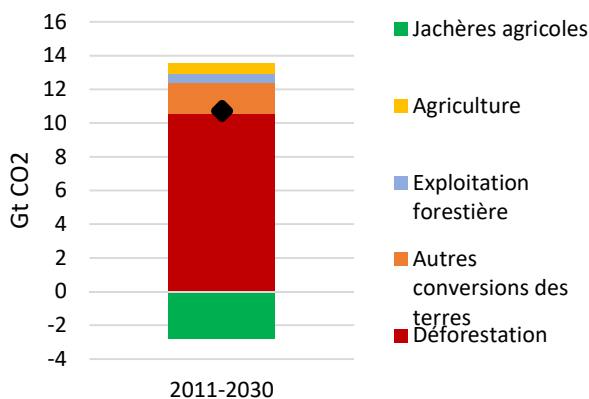


Figure 23 Composition des émissions totales estimées dans les pays de la COMIFAC sur la période 2011-2030 en Gt CO₂

7.3 Impacts potentiels sur la biodiversité

La diminution à la fois des aires forestières et des autres terres naturelles dans le scénario de base représente une menace pour la biodiversité dans ces aires et les services pour les hommes que ces zones naturelles peuvent fournir. Cependant, le changement d'utilisation des terres projeté, et les menaces à la biodiversité relatives, ne sont pas répartis uniformément entre les différents écosystèmes. Dans la plupart des écorégions, le principal facteur de changement d'utilisation des terres est l'agriculture. Une plus grande expansion des pâturages se manifeste dans les savanes est-soudanaises, le pâturage du bétail a un impact plus faible sur les zones de savane que la conversion des espaces en terres agricoles en fonction de l'intensité du pâturage dont il est question. La Figure 24 présente le pourcentage de la superficie totale de l'écorégion qui est convertie en d'autres usages productifs. Les forêts et autres terres naturelles dans l'écorégion de montagne du rift Albertine à l'Est du Bassin du Congo devraient subir les plus grandes proportions de conversion complète en terres cultivées. Dans les forêts du Nord-Ouest congolais, il y a une augmentation de la proportion des terres cultivables et des pâturages, et une diminution correspondante de la forêt et des terres naturelles couvrant un total de 13% de la superficie de l'écorégion.

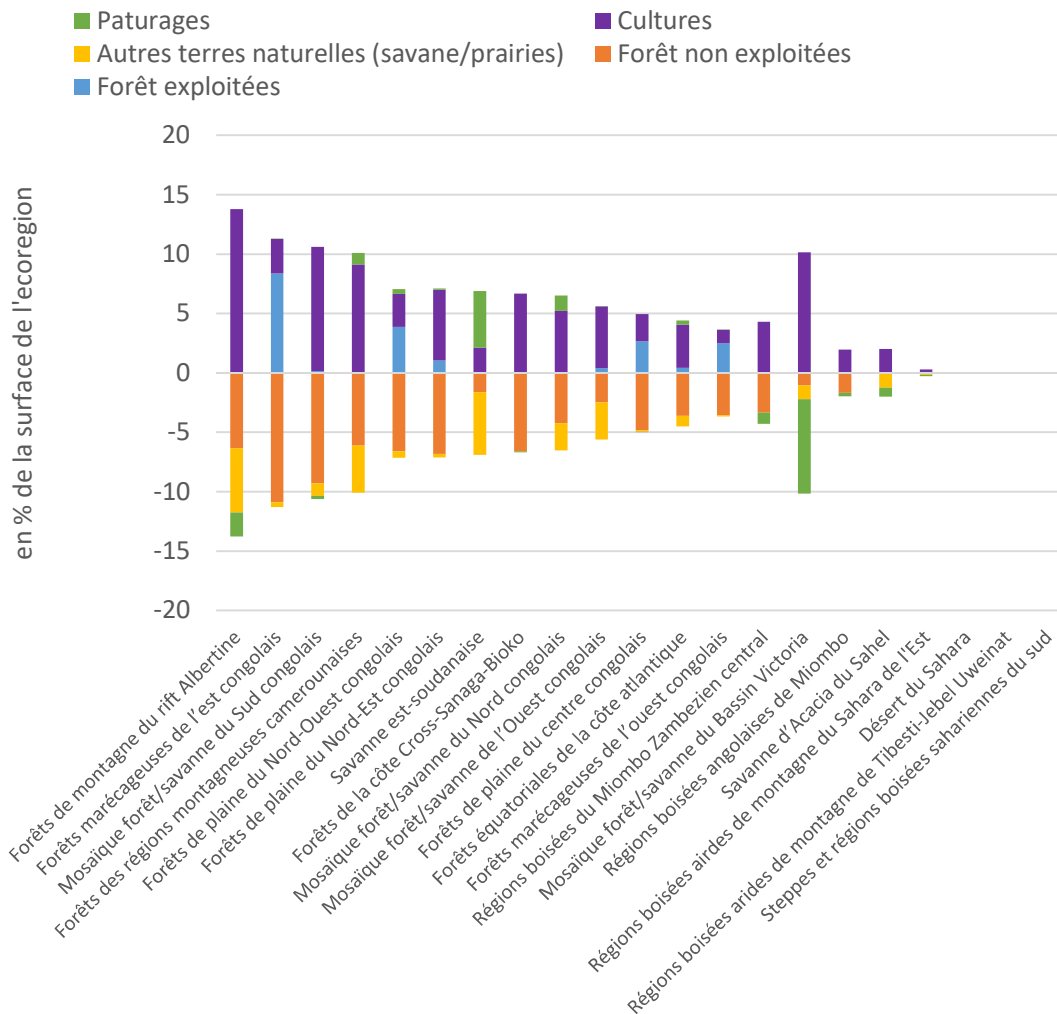


Figure 24 Variation totale de l'utilisation des terres sur la période 2011-2030 dans les écorégions du Bassin du Congo.

La combinaison des informations sur la perte des forêts entre 2011 et 2030 avec les informations sur la répartition des grands singes souligne, selon les projections, une perte de leur habitat sur une grande partie de leur aire de répartition dans la région dans le scénario de référence. Le modèle prédit une perte d'habitat particulièrement importante pour les grands singes dans le centre du Cameroun et dans la région est de la RDC (Figure 25). La perte totale est un peu moins de cinq pourcent de leur étendue dans la région. Cependant, comme cette perte est très dispersée, il y a un risque que cela augmente la fragmentation de la répartition des grands singes. En outre, l'étendue de la perte signifie qu'il y a beaucoup de régions dans lesquelles les services potentiels que les espèces de grands singes peuvent fournir, y compris leur rôle dans le soutien du développement des activités d'écotourisme, présentent un risque accru à l'avenir. Outre la perte directe d'habitat,

l'expansion des zones agricoles devrait entraîner une augmentation des contacts hommes-faunes et par conséquent des risques de braconnage.

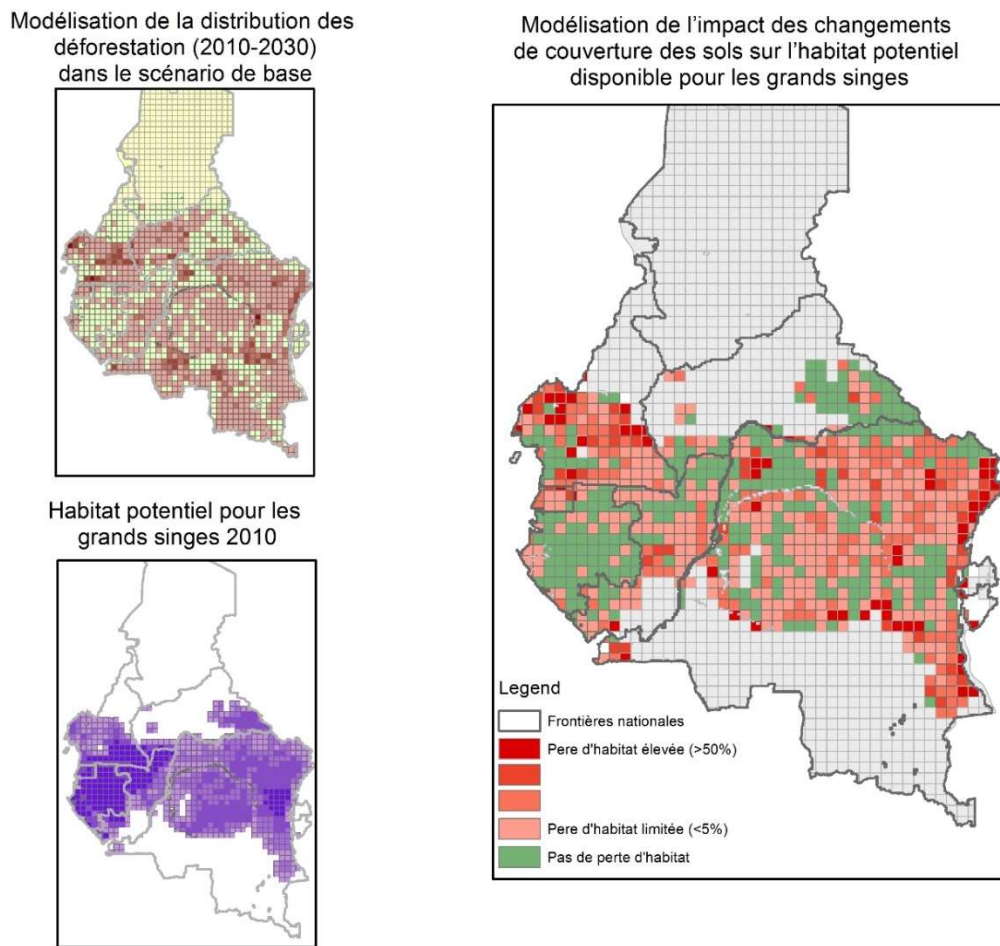


Figure 25 Modélisation de l'impact de la déforestation sur l'habitat potentiel pour les grands singes par unité de simulation

La perte estimée de la végétation naturelle aura un impact, non pas seulement sur les grands singes, mais sur toutes les espèces présentes dans ces aires, et sur les valeurs potentielles qu'elles peuvent offrir. La combinaison des informations sur les changements prévus d'utilisation des terres (y compris les forêts et les savanes) avec les informations sur la répartition des espèces et de leurs besoins en habitat souligne que 371 des 2115 espèces évaluées sont estimées perdre plus de 10% de leur habitat potentiel disponible dans la région dans le scénario de base, et 55 sont estimées perdre plus de 30% de leur habitat potentiel disponible. Selon la liste rouge mondiale de l'UICN, la perte de plus de 30% de l'habitat est un critère pour identifier les espèces menacées d'extinction. 51 des 371 espèces estimées perdre plus de 10% de leur habitat potentiel sont globalement menacées et 110 sont protégés par la loi. La combinaison des informations sur la proportion d'habitat perdu pour chaque espèce dans une aire produit un indice sur la perte totale d'habitat dans les différentes zones, la perte sera plus grande dans les aires où il y a à la fois une grande quantité

de conversion et un grand nombre d'espèces qui perdent leur habitat. On remarque que les zones les plus touchées dans le scénario de base sont l'Est de la RDC à la frontière avec l'Ouganda, le Rwanda et le Burundi et le Cameroun Ouest (Figure 26). On observe aussi des gains à certains endroits, mais ils sont généralement très faibles et principalement dus à l'abandon de certaines terres cultivées où la végétation naturelle revient peu à peu au cours de la période 2011-2030.

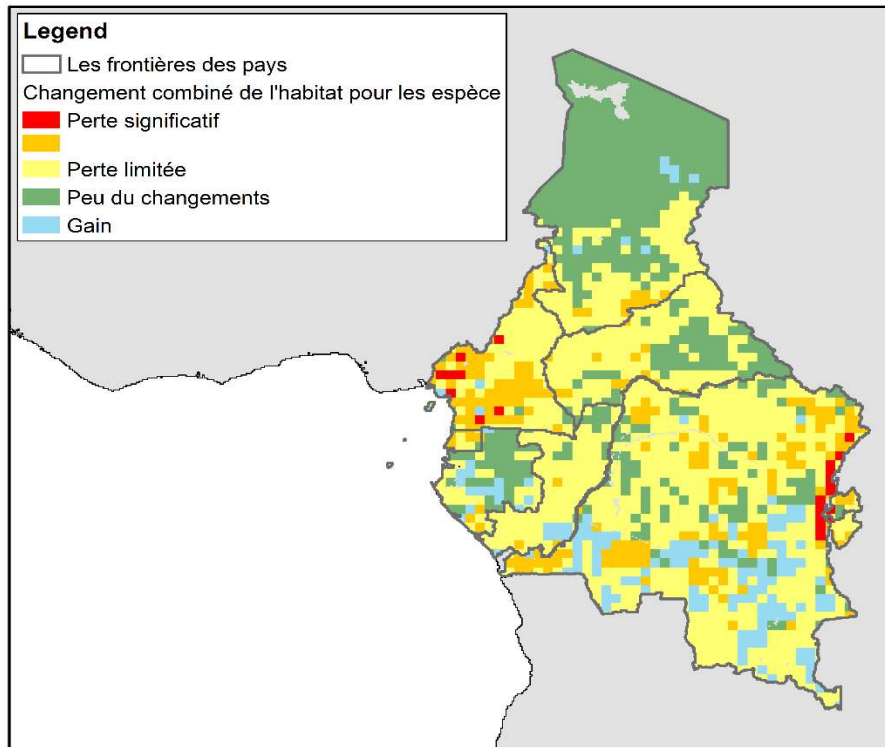


Figure 26 Carte de l'impact combiné de la perte d'habitat des espèces de 2030 à 2010 pour l'ensemble des espèces, pondérée par l'endémisme relatif de chaque espèce.

Il est difficile d'évaluer l'impact de la perte de l'habitat naturel sur les services écosystémiques fournis dans ces zones à cause de données d'information limitées sur les distributions des services écosystémiques. Toutefois, combiner les informations de changement d'usage des sols avec les informations sur la répartition du *Prunus Africana*, montre que la déforestation est susceptible de se produire dans 23% de la superficie où il est fort probable de se produire et 7% de la zone où il peut se produire.

8 Résultats pour les scénarios alternatifs

8.1 Déforestation et autres changements d'utilisation des terres

La déforestation cumulée entre 2011 et 2030 varie entre 12 et 18,8 millions d'hectares dans les scénarios testés contre 16,8 millions d'hectares dans le scénario de base (Figure 27). L'amélioration des rendements agricoles, l'augmentation des aires protégées et une plus faible croissance de la population et du PIB pourraient réduire la déforestation sur la période 2010-2030 tandis que les objectifs de croissance des surfaces en palmiers à huile, l'expansion de l'agriculture non contrôlée dans les aires protégées ou les concessions forestières, et une plus forte augmentation de la population et du PIB augmentent la déforestation par rapport au scénario de base.

A l'échelle régionale, le scénario le plus pessimiste est celui où il y aurait une forte croissance économique et démographique sans qu'il y ait d'amélioration des rendements (MACRO+). Le non-respect des aires protégées (AP_Non) et la rétrocession des concessions forestières existantes dans le domaine forestier non-permanent (FC NON) augmenteraient la déforestation de 0.8 et 0.5 millions d'hectares sur la période 2011-2030. Le scénario d'augmentation des plantations de palmiers à huile est mis en œuvre dans deux pays seulement, le Congo et le Cameroun, ce qui peut entraîner une sous-estimation des impacts à l'échelle sous-régionale.

Parmi les mesures qui pourraient conduire à une plus faible déforestation dans les prochaines décennies, l'amélioration de la productivité agricole par hectare est celle qui serait la plus efficace selon nos résultats (RDMT+), avec une réduction de la déforestation de 4,7 millions d'hectares sur la période 2011-2030. Une moins forte croissance économique et démographique (MACRO-) diminue la déforestation cumulée entre 2011 et 2030 de 2,2 millions d'hectares. L'expansion des aires protégées pour atteindre l'objectif de 17% de couverture du territoire pour chaque pays serait bénéfique pour les forêts, particulièrement si un critère carbone est également pris en considération (AP+CARB). Nous rappelons ici que l'expansion des aires protégées dans nos scénarios est basée sur les zones où la pression démographique est particulièrement forte dans le futur.

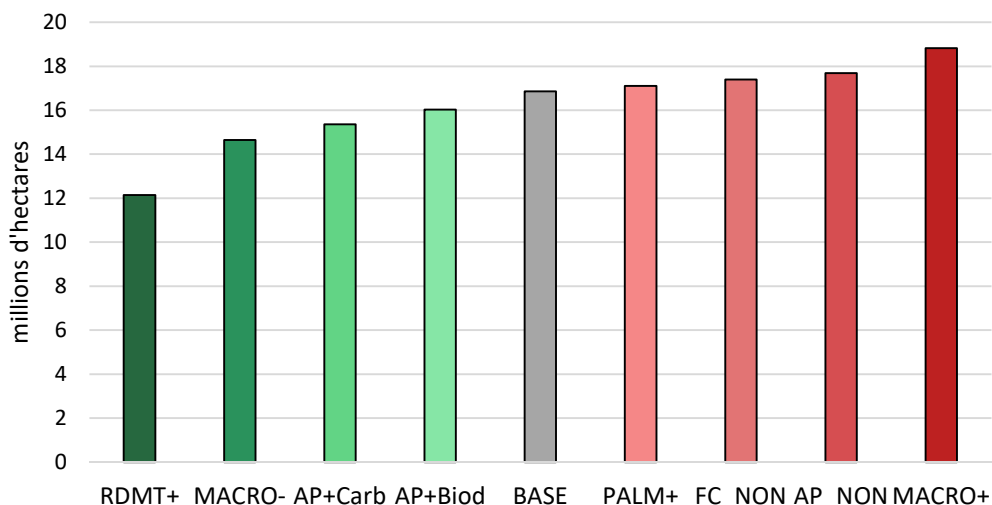


Figure 27 Déforestation totale cumulée sur la période 2010-2030 selon différents scénarios : les scénarios en vert réduisent la déforestation future par rapport au scénario de base (en gris) tandis que les scénarios en rouge augmentent la déforestation future

Pour l'ensemble des changements d'utilisation des terres sur la période 2011-2030 dans le bassin du Congo, on observe simultanément la plus grande conversion des autres terres naturelles et la plus grande déforestation dans le scénario de plus forte augmentation de la population et du PIB (Macro+) car ce scénario conduit à l'augmentation la plus forte de terres cultivées (Figure 28). Dans le cas où le gouvernement déciderait plutôt de miser sur des techniques de production agricole plus performantes (Rdmt+), cela conduirait à une plus faible conversion des forêts mais peu d'impact sur les terres naturelles.

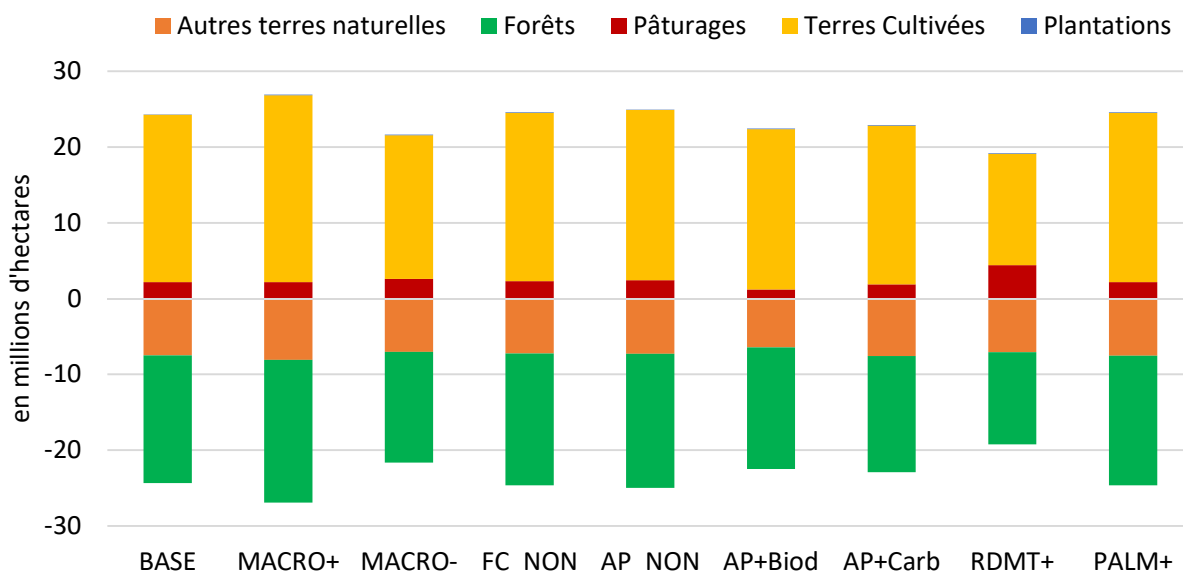


Figure 28 Conversion ou expansion des différents types d'occupation des sols entre 2011 et 2030 pour chaque scénario.

8.2 Emissions

Les émissions issues de la déforestation sur la période 2011-2030 varient entre 5 et 13,5 GtCO₂ selon la carte de biomasse utilisée et les scénarios. On remarque que, les émissions issues de la déforestation ne varient pas forcément proportionnellement aux surfaces déforestées selon les différents scénarios (Figure 29). Cela montre que chaque scénario a des impacts différents non seulement sur la magnitude de la déforestation mais également sur la localisation de la déforestation. Ainsi, quand on observe une augmentation plus forte des émissions que des surfaces, cela signifie qu'une plus grande part de la déforestation a lieu dans des forêts plus riches en carbone alors qu'une moins forte augmentation des émissions par rapport aux surfaces indique qu'une plus grande part de la déforestation a lieu dans des forêts relativement moins riches en carbone. Alors que les scénarios d'amélioration des rendements agricoles par hectare et d'expansion des aires protégées sur un critère carbone permettent de réduire particulièrement la déforestation dans des zones à fort contenu carbone, l'expansion des aires protégées sur un critère biodiversité et la rétrocession des concessions forestières entraînent une plus grande perte de forêts à fort contenu carbone. Dans le cas de l'expansion des aires protégées par rapport à un critère de protection de la biodiversité, on observe même une augmentation des émissions issues de la déforestation alors même que les surfaces déforestées diminuent. Cela peut s'expliquer par un déplacement de surfaces cultivées dans des terres non-forestières ou eu riches en carbone qui deviennent aires protégées vers des zones de forêts riches en carbone non protégées qui n'étaient pas forcément cultivées avant.

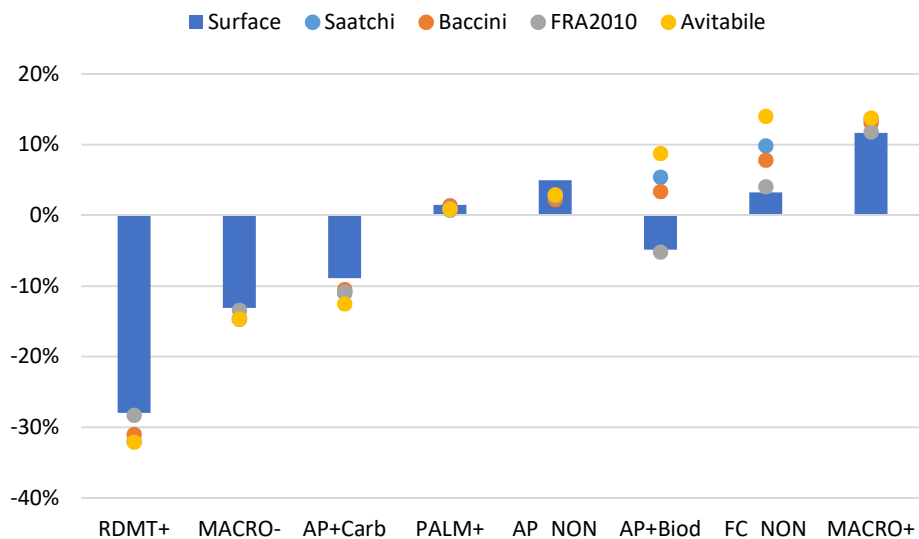


Figure 29 Variation des émissions issues de la déforestation et variation des surfaces déforestées sur la période 2011-2030 dans le bassin du Congo selon les scénarios et la carte de biomasse utilisée

La séquestration de carbone dans les jachères agricoles dépend de l'évolution des surfaces totales en jachère. Cela dépend dans le modèle, de l'évolution des surfaces agricoles dans un système traditionnel de rotation entre terres cultivées et terres sous jachères. Pour rappel, nous avons fait l'hypothèse que c'était le système dominant dans le Bassin du Congo avec des temps de jachère variant selon la densité de population, la zone climatique et le type de culture. On ne comptabilise la séquestration de carbone que sur les jachères qui ont plus de 3 ans. Ainsi, dans les scénarios qui réduisent les surfaces cultivées de produits vivriers, on a également de moins grandes surfaces sous jachères et donc une séquestration plus faible que dans le scénario de base (RDMT+, MACRO-, AP+Carb) (Figure 30).

La séquestration sur les jachères dans le scénario RDMT+ dépend également du type de technique qui est envisagée pour augmenter les rendements par hectare. En effet, si on envisage un système intensif où la fertilité des sols, la lutte contre les maladies et les insectes sont assurées par l'apport d'intrants, les jachères longues ne sont plus nécessaires et des émissions additionnelles proviendront de la gestion des cultures. Si on envisage une intensification par l'introduction de variétés améliorées et/ou de systèmes agro-forestiers plus productifs, il peut toujours y avoir une séquestration importante de carbone dans les jachères et dans les champs. Ainsi, alors que dans un cas on peut avoir une forte réduction nette d'émissions (RDMT+ AgroFor), dans le deuxième cas on se rapproche des émissions nettes du scénario de base (RDMT+Intensif) (Figure 30).

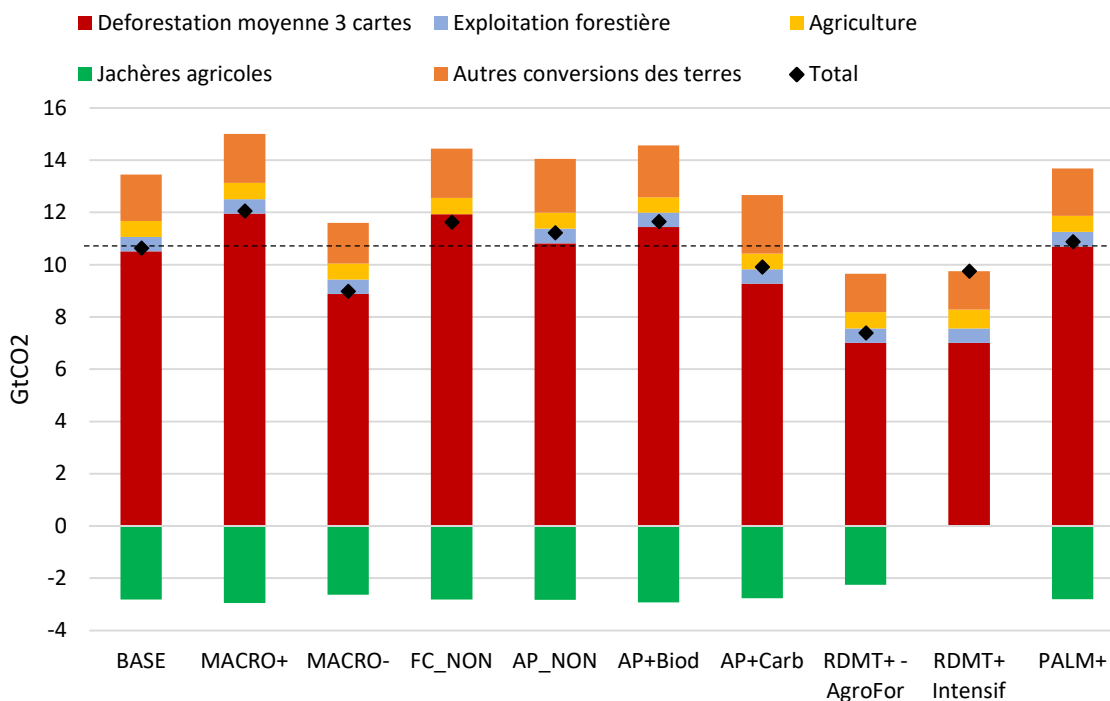


Figure 30 Comparaison des émissions par source et totales dans les pays de la COMIFAC sur la période 2011-2030 selon les scénarios

Les émissions issues de la conversion des pâturages et des autres terres naturelles ne varient pas proportionnellement aux surfaces converties ce qui indique des stratégies d'expansion des terres agricoles dans différents endroits selon le scénario. Cela peut s'observer dans le Tableau 7 qui présente les facteurs d'émission moyens par type de conversion, sous-région de la COMIFAC et scénario en 2030. Ce qui peut paraître paradoxal, c'est que les émissions issues de la conversion des pâturages et des autres terres naturelles augmentent par rapport au scénario de base à la fois dans le scénario où les aires protégées ne sont pas protégées (AP_NON) et dans les scénarios où on étend les aires protégées existantes (AP+Biod, AP+Carb). On observe que les réallocations de l'expansion agricole entre les scénarios a un impact particulièrement important sur le total des émissions au niveau de la COMIFAC en RDC, où le contenu carbone des autres terres naturelles peut être très élevé et les surfaces converties sont significatives.

Tableau 7 Facteur d'émission moyen par scénario et par type de conversion des terres en dehors de la déforestation entre 2010 et 2030 (en tCO₂/ha)

	BASE	AP_NON	AP+Biod	AP+Carb	FC_NON	MACRO-	MACRO+	PALM+	RDMT+
<u>Conversion des pâturages en cultures</u>									
BC_East	157	157	157	157	157	156	159	157	156
BC_Nord	46	57	37	50	61	39	34	46	59
BC_Ouest	171	221	121	110	259	145	151	171	42
Cameroun	110	112	159	113	131	104	100	105	112
RDC	114	196	140	158	173	101	126	114	75
Congo	169	273	202	246	335	169	169	220	166
<u>Conversion des autres terres naturelles en cultures</u>									
BC_East	176	208			234	176	176	176	176
BC_Nord	82	91	76	72	76	91	96	82	81
BC_Ouest	415		502	441		430	411	419	556
Cameroun	96	101	316	95	109	110	100	95	85
RDC	337	405	588	424	364	328	334	338	344
Congo	677	699	767	761	350	677	639	708	665
<u>Conversion des autres terres naturelles en pâturages</u>									
BC_Nord	160	158	113	169	164	162	132	160	162
BC_Ouest	148	147	141	149	148	143	149	148	158
Cameroun	137	141	176	143	153	139	131	134	149
RDC	105	182	135	156	162	86	122	105	72
Congo	171	266	189	240	279	187	170	218	168

Les émissions totales issues de la conversion des terres et de l'agriculture varient entre 7,4 et 12 GtCO₂ dans les pays de la COMIFAC sur la période 2011-2030 selon les scénarios. Dans tous les scénarios, les changements dans les émissions issues de la déforestation a le plus grand impact sur les émissions totales. Néanmoins, dans le scénario de rétrocession des concessions forestières, la baisse des émissions liées à l'exploitation forestière annule près de 40% des émissions

additionnelles liées à une plus forte déforestation. Les scénarios sur les aires protégées ont également un fort impact sur la conversion de terres non forestières qui peuvent être riches en carbone. Enfin, les scénarios d'intensification agricole ont des impacts assez différents selon le type d'intensification qui est envisagé de par l'impact sur la séquestration de carbone sur les jachères agricoles.

8.3 Impacts sur la biodiversité

Les impacts sur la biodiversité varient entre les différents scénarios, et le scénario qui a le plus d'impact dépend de l'aspect de la biodiversité considéré. La **Error! Reference source not found.31** montre l'impact total sur l'habitat du gorille de montagne (*Gorilla beringei*), du gorille des plaines occidentales (*Gorilla gorilla*), le bonobo (*Pan paniscus*) et du chimpanzé (*Pan troglodytes*). Le non-respect des aires protégées et la suppression des concessions forestières entraînent une augmentation de la perte de l'habitat des grands singes par rapport au scénario de base. Cela souligne l'importance de s'assurer que les aires protégées et les concessions forestières soient effectivement gardées.

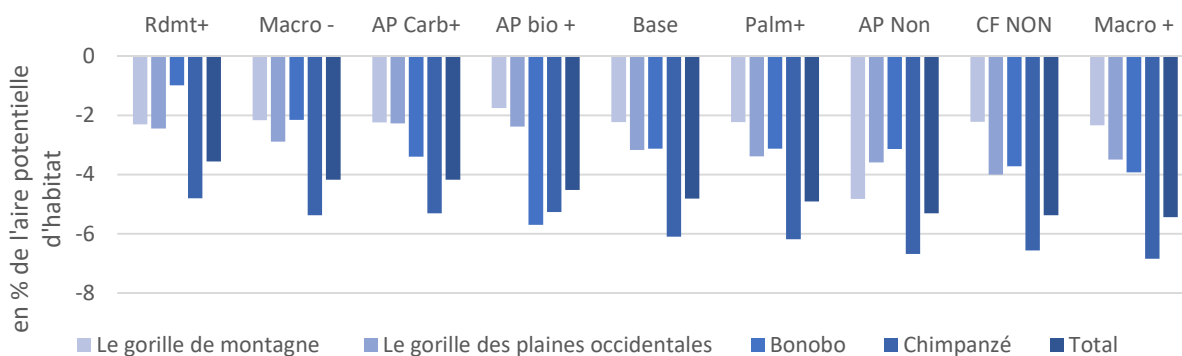


Figure 31 Impact des différents scénarios sur la perte d'habitat potentiel pour les grands singes 2030.

Lorsque l'on regarde toutes les espèces confondues, le scénario qui projette une perte d'habitat pour le plus grand nombre d'espèces est le scénario de non-respect des aires protégées. Dans ce scénario, on estime que plus de 421 des 2115 espèces évaluées, perdraient plus de 10% de leur habitat (Figure 50), et plus de 100 espèces perdraient plus de 30% de leur habitat à l'intérieur de la République démocratique du Congo. Une perte de l'habitat de plus de 30% est susceptible de rendre ces espèces vulnérables à l'extinction selon les critères d'évaluation de l'UICN. Parmi les espèces qui perte de l'habitat de plus de 30%, 33 sont déjà menacées d'extinction et 9 sont protégés par la loi.

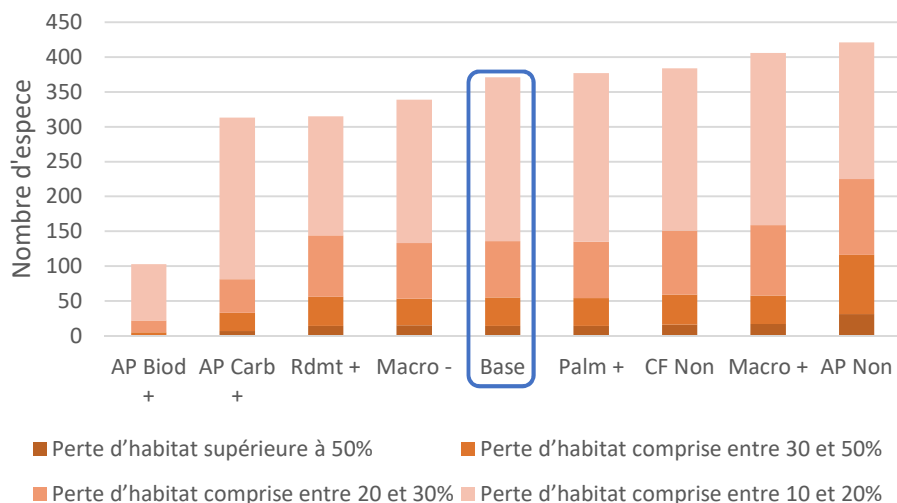


Figure 32 Nombre d'espèces dont une certaine part de leur aire d'habitat potentiel est convertie à d'autres usages sur la période 2010-2030

Les scénarios dans lesquels la perte d'habitat des espèces est la moindre, et dans lesquels la perte totale de l'habitat des grands singes est minimale, sont ceux où il y a une expansion des aires protégées, ce qui souligne le rôle important que les aires protégées peuvent jouer dans la protection de la biodiversité et des services écosystémiques, tels que le tourisme lié aux grands singes (Figure 32). Parmi les scénarios modélisés, le scénario dans lequel les aires protégées sont étendues seulement sur la base du critère de l'habitat des espèces les plus menacées (AP+Biod), conduit sans surprise à la plus grande réduction de la perte d'habitat de toutes les espèces. C'est également le scénario qui conduit au plus petit nombre d'espèces qui perdent plus de 30% d'habitat, et le scénario qui conduit à la plus petite perte de zones où le Prunus est présent. Même si en pratique, les aires protégées sont créées en fonction de nombreux autres critères (présence d'espèces ou écosystèmes spécifiques, de certains services écosystémiques, point de vue des parties prenantes locales ou encore faisabilité), cette simulation permet de déterminer dans quelle mesure une telle expansion sur la base du seul critère d'évitement de la perte future d'habitat pour les espèces pourrait contribuer à cet objectif.

Le classement des scénarios d'expansion des aires protégées est différent pour les grands singes. Le scénario « AP+Biod » réduit la perte de Gorille et Chimpanzé habitat, mais augmente la perte de l'habitat du bonobo. Le scénario fondé sur les critères de biodiversité alloue l'expansion des aires protégées sur la base des pressions futures sur l'habitat d'un large éventail d'espèces, y compris les espèces non forestières, et ces critères peuvent ne pas être les plus efficaces pour protéger l'habitat des grands singes qui tend plutôt à coïncider avec les zones de forêt dense à teneur élevée en carbone. On remarque aussi que l'expansion des aires protégées sur la base des pressions futures sur l'habitat d'un large éventail d'espèces, pourrait augmenter la pression sur les bonobos en raison du déplacement de l'agriculture dans les zones où ils se produisent. Cela met en évidence les

arbitrages éventuels à réaliser entre le but de protéger un large éventail d'espèces et celui de se concentrer sur des espèces ou services écosystémiques particuliers.

En termes des impacts sur les services écosystémiques, le scénario dans lequel il y a le plus de déforestation dans les zones où la présence de *Prunus Africana* est probable est le scénario de non-respect des aires protégées (AP Non) tandis que le scénario AP+Biod permet de préserver le plus le *Prunus Africana*. Bien que la distribution d'autres services écosystémiques (y compris des autres produits forestiers non ligneux) pourrait ne pas correspondre à celui du *Prunus Africana*, ces résultats montrent toutefois le rôle considérable que les aires protégées peuvent jouer dans la protection des écosystèmes. Les grandes barres d'erreur sur la Figure 33 montrent que l'impact sera variable en fonction de l'emplacement des changements d'utilisation des terres par rapport à la localisation des zones importantes pour les services écosystémiques. La perte de *Prunus Africana* pourrait varier considérablement selon que la déforestation a plus ou moins de chance de se produire dans les endroits où le *Prunus* est présent plutôt que dans les forêts avoisinantes dans les mêmes unités de simulation.

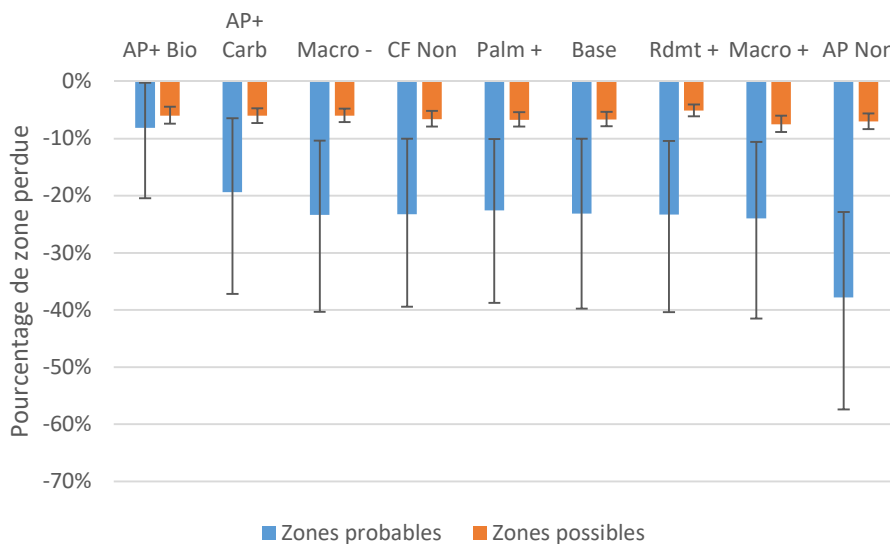


Figure 33 L'impact de différents scénarios sur l'aire de répartition possible et probable du prunus en pourcentage de la surface qui est touché par la déforestation.

*Les barres d'erreur indiquent l'incertitude due à la location de la déforestation à l'intérieur des unités de simulation, par exemple, si la déforestation se produit d'abord dans les zones où le *Prunus Africana* est présent ou dans les forêts avoisinantes.*

9 Quels facteurs peuvent réconcilier plusieurs objectifs ?

9.1 OMD et ODD

Les Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) ont été adoptés par les 193 Etats membres de l'ONU en 2000 à New York. Les huit objectifs recouvrent des grands enjeux humanitaires avec des cibles chiffrées pour les progrès à réaliser à l'horizon 2015. Dans le cadre de cette étude, deux de ces objectifs sont particulièrement importants.

- ***Eliminer l'extrême pauvreté et la faim (Objectif 1)*** : les cibles étaient de réduire de moitié, entre 1990 et 2015, la proportion de la population dont le revenu est inférieur à un dollar par jour, d'assurer le plein-emploi et la possibilité pour chacun, y compris les femmes et les jeunes, de trouver un travail décent et productif, et de réduire de moitié, entre 1990 et 2015, la proportion de la population qui souffre de la faim.
- ***Assurer un environnement durable (Objectif 7)*** : les cibles étaient d'intégrer les principes du développement durable dans les politiques et programmes nationaux et d'inverser la tendance à la déperdition des ressources environnementales et de réduire la perte de biodiversité et atteindre, d'ici à 2010, une diminution significative du taux de perte.

En 2013, lors de l'évaluation de l'atteinte de ces objectifs pour les différents pays, le problème de disponibilité des données a néanmoins été souligné : « ***Dans de nombreux pays, la disponibilité, la fréquence et la qualité des données pour mesurer la pauvreté restent d'un faible niveau [...]. Des obstacles institutionnels, politiques et financiers entravent la collecte, l'analyse et l'accès public aux données. Il est urgent d'améliorer dans ces pays les programmes d'enquêtes sur les ménages pour mesurer la pauvreté.*** »

En 2015, les Etats membres de l'ONU ont adopté un nouveau programme de développement durable avec 17 objectifs mondiaux qui prennent la suite des objectifs de développement pour le millénaire pour la période 2016-2030. Comme pour ces derniers, des cibles chiffrées ont été définies pour chaque objectif.

- ***L'élimination de la pauvreté sous toutes ses formes (Objectif 1)***
- ***L'élimination de la faim¹⁰ (Objectif 2)*** : les cibles sont notamment de doubler la productivité agricole et les revenus des petits producteurs d'ici 2030, et d'assurer la viabilité des systèmes de production alimentaire et mettre en œuvre des pratiques agricoles résilientes qui contribuent à la préservation des écosystèmes, renforcent les capacités

¹⁰ <http://www.un.org/fr/zerohunger/#&panel1-1>

d'adaptation aux catastrophes climatiques et aux changements climatiques, et améliorent progressivement la qualité des terres et des sols.

- **Préserver et restaurer les écosystèmes terrestres (Objectif 15)** : cela inclut la promotion de la gestion durable de tous les types de forêt, la fin de la déforestation, la restauration des forêts dégradées et l'accroissement du boisement et du reboisement, ce qui est assez proche des objectifs de REDD+. Un accent particulier est également mis sur la préservation de la biodiversité dans l'objectif 15 avec notamment la lutte contre le braconnage et la protection des espèces menacées.

9.2 Analyse multi-objectifs

Les décideurs politiques sont souvent confrontés à la nécessité de réaliser plusieurs objectifs avec des ressources limitées. Les politiques qui peuvent permettre de réaliser plusieurs objectifs à la fois sont donc susceptibles d'intéresser particulièrement les décideurs.

Nous comparons ici l'impact de chaque scénario sur trois objectifs : la sécurité alimentaire, la lutte contre le réchauffement climatique et la protection de la biodiversité. Pour chacun de ces objectifs, nous avons retenu deux indicateurs qui peuvent être calculés en utilisant les résultats du modèle. Pour le développement économique et la sécurité alimentaire nous avons retenu a) la production moyenne de calories d'origine végétale par habitant en 2030 et b) la valeur des importations agricoles nettes d'origine végétale en 2030. Ceci peut faire écho aux objectifs de développement durable 2 pour éliminer la faim et assurer la sécurité alimentaire mais aussi l'objectif 8 pour une croissance économique inclusive créatrice d'emplois pour tous. Pour la lutte contre le réchauffement climatique nous avons retenu c) les émissions issues du secteur agricole et du changement d'usage des terres entre 2011-2030 et d) les émissions issues de la déforestation seulement entre 2011 et 2030. Ces indicateurs sont pertinents pour mesurer les progrès vers l'objectif de développement durable 13 pour combattre le réchauffement climatique, et les engagements des pays du bassin du Congo pour réduire les émissions de gaz à effet de serre dans le cadre des négociations à l'UNFCCC et plus particulièrement, dans le cadre du processus REDD+. Enfin pour la conservation et l'usage durable de la biodiversité nous considérons e) la perte de l'aire d'habitat potentiel des grands singes dans le pays et f) le nombre d'espèces qui perdent plus de 10% de leur habitat potentiel dans le pays entre 2010 et 2030. Ceci est directement lié à l'objectif de développement durable 15 pour la préservation de la biodiversité.

Tableau 8 Comparaison des scénarios sur leur contribution à plusieurs objectifs (la couleur verte indique un rapprochement vers la réalisation d'un objectif tandis que la couleur rouge signifie un éloignement de l'objectif)

	Développement économique et sécurité alimentaire		Atténuation du changement climatique		Conservation et usage durable de biodiversité	
	Calories produites par hab. (a)	Importations nettes (b)	Emissions totales (c)	Emissions issues de la déforestation (d)	Perte d'habitat des grands singes (e)	Nombre d'espèces qui perdent > 10% de leur habitat (f)
BASE	2303	-8009	10224	10095	4,8%	371
MACRO+	-2,7%	14,9%	13,3%	13,8%	13,1%	9,4%
MACRO-	-0,5%	-23,9%	-14,8%	-14,6%	-13,3%	-8,6%
AP Non	0,2%	-0,8%	5,5%	2,9%	10,5%	13,5%
CF Non	0,1%	-0,2%	9,6%	14,0%	11,7%	3,5%
AP+Biod	-3,3%	4,8%	9,4%	7,4%	-6,0%	-72,2%
AP +Carb	-2,3%	2,0%	-7,4%	-16,8%	-13,2%	-15,6%
RDMT +	19,6%	-25,8%	-29,2%	-32,1%	-26,1%	-15,1%
PALM+	2,6%	0,3%	1,3%	0,9%	2,1%	1,6%

- a) Production de calories en kcal par habitant par an en 2030 sur la base des cultures représentées dans le modèle
- b) Valeur des importations agricoles en milliers de dollars en 2030 sur la base des cultures représentées dans le modèle
- c) Total des émissions issues du secteur agricole et des changements d'usages des terres en mégatonnes CO₂ entre 2010 et 2030
- d) Total des émissions issues de la déforestation en Mégatonnes CO₂ entre 2010 et 2030 en utilisant la carte de biomasse de Avitabile et al.
- e) Part de l'aire d'habitat potentiel des grands singes convertie en d'autres usages entre 2010 et 2030
- f) Nombre d'espèces parmi 2115 espèces considérées dans l'analyse qui perdent plus de 10% de leur habitat potentiel entre 2010 et 2030

Il y a un scénario pour lequel on observe une amélioration de tous les objectifs à la fois (Tableau 8). L'augmentation des rendements agricoles (Rdmt+), permet une amélioration des indicateurs environnementaux, que ce soit pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre ou un plus faible impact sur la faune. Il permet également le développement économique et la sécurité alimentaire. Cependant, ce scénario entraîne une réduction des importations et une augmentation de la production de calories par habitant. Cela est dû à la dimension sous régionale de la définition de ces scénarios : en effet, tous ces scénarios sont introduits pour tous les pays de la COMIFAC en même temps. Lorsque ceux-ci connaissent une augmentation de leur productivité (Rdmt+), ou une réduction de leur consommation (Macro-), cela a comme répercussion une augmentation de la production pour les cultures qui sont exportées. Dans nos travaux futurs, nous ferons des simulations pour essayer de distinguer l'impact des changements purement internes des changements dans le reste de la sous-région.

10 Conclusion et discussion des résultats

Contrairement à d'autres bassins forestiers tropicaux, la déforestation est à la hausse dans les pays du Bassin du Congo. Les résultats de cette analyse par modélisation du changement d'usage des terres indiquent que sur la période 2010-2030 la déforestation future pourrait causer l'émission de 10 Gigatonnes de CO₂ et une perte de plus de 10% de l'aire d'habitat potentiel de 371 espèces, dont 51 espèces menacées. En comparant les résultats de plusieurs scénarios, on constate qu'une plus faible croissance de la population et une augmentation des rendements agricoles pourraient aider à réconcilier le développement agricole, les émissions liées aux changements d'usages des sols et les impacts sur la conservation et l'usage durable de la biodiversité. Enfin, les résultats de cette étude montrent l'importance d'une gestion effective des aires protégées pour la protection des espèces, et leur contribution à la prévention de l'extinction des espèces qui est un des objectifs internationaux du Plan Stratégique pour la Biodiversité 2011-2020. Alors que la plupart des pays de la région soulignent le manque de moyens pour la gestion de leurs aires protégées, ces résultats confirment l'importance d'un soutien financier et technique à cette gestion.

La magnitude de la déforestation et des émissions associées que nous avons obtenue dans cette étude dépend en partie de facteurs qui n'ont pas pu être mesurés avec précision ou de mécanismes qui ne sont pas parfaitement représentés dans le modèle à l'heure actuelle. Nous discutons dans les paragraphes suivants les principales sources d'incertitude de cette étude et les pistes d'amélioration pour nos travaux futurs.

En ce qui concerne les rendements agricoles, la faiblesse des statistiques dans le secteur agricole dans les pays de la région rendent difficile le diagnostic quant aux tendances actuelles. De plus, plusieurs articles ont montré qu'une augmentation des rendements agricoles peut en fait s'accompagner d'une augmentation de la déforestation (Byerlee, Stevenson, & Villoria, 2014; Hertel, Ramankutty, & Baldos, 2014; Rudel et al., 2009). Le mécanisme économique sous-jacent est qu'une augmentation de la productivité tend à faire diminuer le coût de production par unité et donc le prix des denrées agricoles. Ces prix plus bas stimulent la consommation qui peut augmenter potentiellement plus que ce qui peut être atteint par la seule augmentation de productivité par hectare, menant alors à une augmentation des surfaces cultivées. Côté production, il est donc crucial de connaître quelles technologies peuvent être utilisées, leur coût, et leur impact sur la productivité, et côté demande, comment réagit la consommation face à un changement de prix (élasticité prix de la demande).

Il est aussi important de comprendre quelles sont les principales contraintes des agriculteurs afin d'augmenter les chances d'adoption de ces nouvelles pratiques (investissement en travail, coût des intrants, sécurité des investissements, etc.). Dans le cadre d'un projet pour la Banque Mondiale où le modèle CongoBIOM avait été utilisé pour la première fois, nous avons également trouvé qu'une augmentation des rendements agricoles entraînait une augmentation de la déforestation (Mosnier et al., 2012). Le modèle a connu d'importantes modifications depuis, ce qui peut expliquer la différence de résultat dans cette étude. Suite à cette étude, nous allons donc mener une étude de sensibilité approfondie pour analyser en détail sous quelles conditions l'augmentation des

rendements agricoles entraîne ou non une réduction de la déforestation dans le Bassin du Congo avec GLOBIOM.

Si nos résultats montrent qu'une forte croissance économique pourrait avoir des impacts négatifs sur le couvert forestier à travers une augmentation de la demande pour les produits agricoles, tout dépend en réalité de la façon dont les fruits de cette croissance sont utilisés. Une plus forte croissance économique peut créer des emplois dans d'autres secteurs d'activité que l'agriculture et permettre d'investir dans le développement et la diffusion de technologies innovantes visant à l'augmentation de la productivité agricole.

Malgré nos efforts pour collecter des données, la modélisation de la coexistence de l'exploitation informelle et formelle des forêts mérite encore des efforts. Dans le modèle, les deux types d'exploitation sont en concurrence directe sur les marchés où le prix est le même pour tout le monde alors que dans la réalité les marchés de l'export, réservés aux concessionnaires, et les marchés locaux, moins regardant sur la provenance du bois et utilisant plus d'espèces, sont assez différenciés (Bayol et al., 2014). Il y a également une différence des exigences en termes de durabilité et de traçabilité de l'exploitation forestière selon les pays destinataires. Cette étude repose sur une hypothèse de respect des plans de gestion dans les concessions. Le plan d'action FLEGT qui devrait bannir les importations de bois illégal en Europe devrait renforcer leur mise en œuvre mais il y a des risques de « fuite » d'exportations de bois illégal vers les marchés asiatiques qui sont actuellement peu regardant en matière de durabilité. Pour l'exploitation informelle, nous manquons encore d'informations sur la disponibilité de la ressource en bois, la localisation de l'exploitation et l'impact à long terme sur les peuplements. Ainsi, bien que plusieurs études soulignent l'importance du secteur informel dans les pays du Bassin du Congo avec des volumes de bois extraits proches du secteur formel (Lescuyer & Cerutti, 2013; Ondele-Kanga, 2012), il ne nous a pas été possible de représenter la dégradation forestière et les émissions associées dans cette étude.

Dans deux scénarios, les zones d'expansion des aires protégées ont été identifiées sur la base d'un critère unique : la perte d'habitat des espèces dans 'AP+ Biod' et la teneur en carbone dans 'AP+ Carb'. En réalité, l'expansion des aires protégées dépendra d'un large éventail de critères, y compris d'un certain nombre d'aspects différents liés à la biodiversité, et, devrait idéalement être développée dans le cadre de la planification systématique de la conservation (Worboys et al 2015). La planification systématique de la conservation comprend l'identification des priorités nationales de conservation (par exemple cibles sur certaines espèces, certains types ou éléments de végétation), l'examen de la mesure dans laquelle le réseau de conservation actuel répond à ces objectifs et la sélection de zones supplémentaires pour combler les lacunes. Le scénario 'AP+ Bio' est basé sur une menace globale portant sur tous les mammifères, amphibiens et oiseaux pour lesquels des données sont disponibles, et ne tient pas compte des lacunes dans la couverture des espèces, ou le fait que les aires protégées puissent être développées pour protéger des espèces spécifiques, par exemple des espèces charismatiques particulières.

La connectivité entre les aires et la protection des paysages intacts sont également deux éléments importants de la planification des aires protégées (Worboys et al 2015), et qui ne figurent pas dans les scénarios 'AP+'. Dans les scénarios 'AP+', les zones les plus riches en biodiversité ou avec la plus grande perte en carbone dans le scénario de base ont été sélectionnées pour l'expansion des aires protégées, même si celles-ci faisaient partie d'une cellule isolée. La protection de plus grandes étendues d'habitat naturel peut réduire les pressions liées à la fragmentation et accroître la résilience de ces aires, et un tel scénario pourrait concentrer l'emplacement des aires protégées et donc leur impact sur l'utilisation des terres en comparaison avec les scénarios modélisés. En outre, les zones riches en biodiversité ou en teneur carbone élevée qui sont les plus susceptibles de subir un changement d'utilisation des terres (c'est-à-dire les aires sélectionnées dans les scénarios 'AP+' pour l'expansion des aires protégées), peuvent également être les aires où il y a les plus grands coûts d'opportunité pour développer les aires protégées et restreindre le changement dans l'utilisation des terres, rendant le développement des aires protégées dans ces endroits plus difficiles. Dans l'ensemble, bien que les scénarios 'AP+' ne représentent pas la réalité complète des endroits où l'expansion des APs est susceptible de se produire, car l'emplacement de nouvelles aires protégées doit être une décision politique avec le consentement total préalable et éclairé des populations locales, les scénarios montrent que les aires protégées peuvent soutenir la conservation de la biodiversité et des stocks de carbone de la biomasse dans les pays de la COMIFAC.

Références

- Baccini, a., Goetz, S. J., Walker, W. S., Laporte, N. T., Sun, M., Sulla-Menashe, D., ... Houghton, R. a. (2012). Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Climate Change*, 2(3), 182–185. <https://doi.org/10.1038/nclimate1354>
- Bayol, N., Anquetil, F., Bile, C., Bollen, A., Bousquet, M., Castadot, B., ... Vautrin, C. (2014). Filière bois d'oeuvre et gestion des forêts naturelles: les bois tropicaux et les forêts d'Afrique centrale face aux évolutions des marchés. In *Les forêts du bassin du Congo – État des Forêts 2013* (de Wasseige C., Flynn J., Louppe D., Hiol Hiol F., Mayaux Ph.). Weyrich, Belgique.
- Byerlee, D., Stevenson, J., & Villoria, N. (2014). Does intensification slow crop land expansion or encourage deforestation? *Global Food Security*, 3(2), 92–98. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2014.04.001>
- De Wasseige, C., Tadoum, M., Eba'a Atyi, R., & Doumengué, C. (2015). *Les forêts du Bassin du Congo - Forêts et changements climatiques*. Belgique: Weyrich.
- Havlík, P., Valin, H., Herrero, M., Obersteiner, M., Schmid, E., Rufino, M. C., ... Notenbaert, A. (2014). Climate change mitigation through livestock system transitions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(10), 3709–3714. <https://doi.org/10.1073/pnas.1308044111>
- Hertel, T. W., Ramankutty, N., & Baldos, U. L. C. (2014). Global market integration increases likelihood that a future African Green Revolution could increase crop land use and CO2 emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(38), 13799–13804. <https://doi.org/10.1073/pnas.1403543111>
- Kindermann, G. E., McCallum, I., Fritz, S., & Obersteiner, M. (2008). A global forest growing stock, biomass and carbon map based on FAO statistics. *Silva Fennica*, 42(3), 387–396.

- Lescuyer, G., & Cerutti, P. O. (2013). Politiques de gestion durable des forêts en Afrique Centrale: prendre en compte le secteur informel. CIRAD.
- Makana, J.-R., & Thomas, S. C. (2006). Impacts of Selective Logging and Agricultural Clearing on Forest Structure, Floristic Composition and Diversity, and Timber Tree Regeneration in the Ituri Forest, Democratic Republic of Congo. *Biodiversity & Conservation*, *15*(4), 1375–1397. <https://doi.org/10.1007/s10531-005-5397-6>
- Mitchard, E. T., Saatchi, S. S., Baccini, A., Asner, G. P., Goetz, S. J., Harris, N. L., & Brown, S. (2013). Uncertainty in the spatial distribution of tropical forest biomass: a comparison of pan-tropical maps. *Carbon Balance and Management*, *8*(1), 10. <https://doi.org/10.1186/1750-0680-8-10>
- Mosnier, A., Havlík, P., Obersteiner, M., Aoki, K., Schmid, E., Fritz, S., ... Leduc, S. (2012). Modeling Impact of Development Trajectories and a Global Agreement on Reducing Emissions from Deforestation on Congo Basin Forests by 2030. *Environmental and Resource Economics*, 1–21. <https://doi.org/10.1007/s10640-012-9618-7>
- Olson, D. M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E. D., Burgess, N. D., Powell, G. V. N., Underwood, E. C., ... Kassem, K. R. (2001). Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. *BioScience*, *51*(11), 933–938. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0933:TEOTWA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0933:TEOTWA]2.0.CO;2)
- Ondele-Kanga, A. (2012). *Un code du marché domestique du bois au Congo-Brazzaville* (L'Harmattan).
- Palm, C. A., Woomer, P. L., Alegre, J., Arevalo, L., Castilla, C., Cordeiro, D. G., ... van Noordwijk, M. (2000). *Carbon sequestration and trace gas emissions in slash-and-burn and alternative land-uses in the humid tropics* (ASB Climate Change Working Group No. Final Report, Phase II). Nairobi, Kenya.

- Pirker, J., & Mosnier, A. (2015). *Global oil palm suitability assessment* (Interim Report No. IR-13). IIASA.
- Rudel, T. K., Schneider, L., Uriarte, M., Turner, B. L., DeFries, R., Lawrence, D., ... Grau, R. (2009). Agricultural intensification and changes in cultivated areas, 1970–2005. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *106*(49), 20675–20680. <https://doi.org/10.1073/pnas.0812540106>
- Ruesch, a S., & Gibbs, H. K. (2008). *New IPCC Tier-1 Global Biomass Carbon Map for the Year 2000*. Oak Ridge, USA.
- Russell, D., Mbile, P., & Tchamou, N. (2011). Farm and Forest in Central Africa: Toward an Integrated Rural Development Strategy. *Journal of Sustainable Forestry*, *30*(1-2), 111–132. <https://doi.org/10.1080/10549811003757751>
- Saatchi, S. S., Harris, N. L., Brown, S., Lefsky, M., Mitchard, E. T. a, Salas, W., ... Morel, A. (2011). Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *108*(24), 9899–904. <https://doi.org/10.1073/pnas.1019576108>
- Valin, H., Havlik, P., Mosnier, A., & Obersteiner, M. (2010). Climate Change Mitigation And Future Food Consumption Patterns. European Association of Agricultural Economists. Retrieved from <http://ideas.repec.org/p/ags/eaal15/116392.html>