



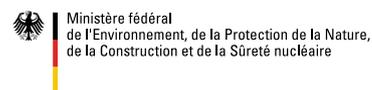
Modélisation des changements d'utilisation des terres pour la République du Congo

2000–2030

Un rapport du projet REDD-PAC Rapport intégral



Soutenu par :



en vertu d'une décision du
Parlement de la République fédérale d'Allemagne



CREDITS

Institutions partenaires

IIASA, Laxenburg (Autriche) : Aline Mosnier, Johannes Pirker, Michael Obersteiner, Florian Kraxner, Géraldine Bocqueho, Petr Havlík

UNEP-WCMC, Cambridge (Royaume-Uni) : Rebecca Mant, Blaise Bodin, Andy Arnell, Valerie Kapos, Paulus Maukonen

COMIFAC, Yaoundé (Cameroun) : Martin Tadoum, Chouaibou Nchoutpouen, Peguy Tonga, Adeline Makoudjou, Didier Bokelo Bile, Roland Gyscard Ndinga

Financement

Le projet REDD-PAC est financé par l'Initiative Internationale pour le climat (IKI) du Ministère fédéral pour l'environnement, la conservation de la nature et la sûreté nucléaire allemand (BMUB).

Citation

Mosnier A., Mant R., Pirker J., Bodin B., Ndinga R., Tonga P., Havlík P., Bocqueho G., Maukonen P., Obersteiner M., Kapos V., Tadoum M. (2016) : Modélisation des changements d'utilisation des terres pour la République du Congo 2000–2030. Un rapport du projet REDD-PAC.

Remerciements

Les auteurs remercient les participants aux différents ateliers qui ont été organisés dans le cadre du projet REDD-PAC à Douala et à Brazzaville. Un grand merci à Georges Boudzanga, le coordonnateur REDD+, l'équipe de la Coordination Nationale REDD+ et plus particulièrement Thidé Abomi Oyaba, et Pierre Taty.

Copyright

© 2016 IIASA, COMIFAC, UNEP-WCMC

Ce rapport est couvert par une license Creative Commons (Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale – Partage des Conditions Initiales à l'Identique 3.0)

Table des matières

	Liste des abbréviations	4
	Résumé exécutif	5
1	Introduction	7
2	Etat des lieux de l'initiative REDD+ en République du Congo	9
2.1	Etude des moteurs de la déforestation	9
2.2	Définition du niveau de référence des émissions issues des forêts	10
3	Le modèle	11
3.1	Le modèle GLOBIOM	11
3.2	Le modèle GLOBIOM	15
3.3	Le modèle GLOBIOM-ROC	16
3.4	Principaux drivers de la déforestation en République du Congo et représentation dans le modèle GLOBIOM-ROC	18
3.4.1	Les besoins alimentaires	18
3.4.2	Les besoins en énergie	19
3.4.3	Les besoins en bois d'œuvre	21
3.4.4	Les besoins en minerais	22
4	La carte d'utilisation des terres	23
4.1	Les cartes de végétation mondiales	23
4.1.1	GLC 2000	23
4.1.2	GlobCover 2005–2006	23
4.1.3	MODIS collection 5	23
4.2	Les cartes de végétation régionales ou spécifiques à la République du Congo	23
4.2.1	UCL 2005	23
4.2.2	FACET	24
4.2.3	GAF	24
4.3	Comparaison des cartes existantes pour la République du Congo	24
4.4	Harmonisation de la carte de végétation avec les différents usages	26
4.4.1	Les concessions forestières et les aires protégées	26
4.4.2	Les surfaces cultivées	28
4.4.3	Les jachères agricoles	31
4.4.4	Le palmier à huile	32
4.4.5	Processus d'allocation spatiale des surfaces agricoles pour l'année de base (2000) au niveau des unités de simulation	34
4.4.6	Elevage	35
5	Le calcul des émissions de gaz à effet de serre et des impacts sur la biodiversité	37
5.1	Le calcul des émissions	37
5.1.1	Les émissions liées au changement d'utilisation des terres	37
5.1.2	Les émissions liées à la dégradation de la forêt	38
5.1.3	Les émissions liées à l'agriculture	39
5.2	Le calcul des impacts sur la biodiversité	39
5.2.1	Impact sur les écosystèmes	40
5.2.2	Impact sur les espèces	41

6	Description des scénarios	43
6.1	Contexte socio-économique	43
6.2	Le domaine forestier permanent	46
6.2.1	Scénarios alternatifs pour les aires protégées	46
6.2.2	Les concessions forestières	47
6.3	Le développement agricole	48
6.3.1	Evolution des rendements agricoles	48
6.3.2	Les objectifs de plantations de palmiers à huile	48
6.4	Les objectifs de reforestation	49
7	Validation du modèle sur la période 2000–2010	50
7.1	Comparaison de la déforestation historique selon différentes sources	50
7.2	Comparaison de la déforestation historique estimée avec la déforestation historique estimée par GLOBIOM	51
7.3	Evolution des surfaces cultivées et de la production par culture	52
8	Résultats sur 2010–2030 dans le scénario de base	53
8.1	Déforestation et autres changements d'utilisation des terres	53
8.2	Production et consommation agricole	55
8.3	Exploitation du bois	55
8.4	Les émissions	56
8.5	Impacts potentiels sur la biodiversité	57
9	Résultats pour les scénarios alternatifs	61
9.1	Déforestation et autres changements d'utilisation des terres	61
9.2	Production et consommation agricole	62
9.3	Emissions	63
9.4	Impacts sur la biodiversité	64
10	Quels facteurs peuvent réconcilier plusieurs objectifs ?	67
10.1	OMD et ODD	67
10.2	Analyse multi-objectifs	68
11	Discussion des résultats	70
11.1	Comparaison de nos résultats avec le NERF national	70
11.2	L'agriculture	71
11.3	Le contexte socio-économique	72
11.4	L'exploitation forestière	73
11.5	L'expansion des aires protégées	74
11.6	Reforestation à grande échelle	74
12	Conclusion	75
	Références	77
	Annexe	81

Liste des abréviations

CCNUCC	Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique
CDB	Convention sur la Diversité Biologique
COMIFAC	Commission des Forêts d'Afrique Centrale
FCPF	Fonds de Partenariat pour le Carbone Forestier
FE	Facteur d'émission
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GLC	Global Land Cover
GLObiom	GLOBal Biosphere Management Model
HRU	Unités d'intervention homogène
IFN	Inventaire Forestier National
IGBP	Programme International pour la Géosphère-Biosphère
JRC	Joint Research Centre (Centre Commun de Recherche de l'UE)
LiDAR	Light detection and ranging (Télédétection par laser)
MAE	Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage
NASA	l'Agence Spatiale Américaine
NERF/NRF	Niveaux d'émissions de référence des forêts et/ou les niveaux de référence des forêts
OMD	Objectifs du Millénaire pour le Développement
PCI-REDD	Principes, Critères et Indicateurs REDD+
PFDE	Projet Forêt et Diversification Economique
PIB	Produit Intérieur Brut
REDD-PAC	« REDD+ Policy Assessment Center » ou « Centre d'Evaluation des politiques REDD+ »
ROC	République du Congo
R-PP	Readiness Preparation Proposal
SPANB	Stratégies et Plans d'Action Nationaux pour la Biodiversité
SSP	Shared Socioeconomic Pathways
TLU	Tropical Livestock Unit (Unité de bétail tropical)
UICN	Union Internationale pour la Conservation de la Nature
WHRC	Wood Hole Research Center

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.

Le Congo est couvert à 65 % par la forêt dont 21 millions d'hectares de forêts denses humides. A l'heure actuelle, trois quarts des forêts denses humides de terre ferme du Congo sont occupées par les concessions forestières. Avec une faible densité de population et une population majoritairement urbaine, seulement une faible proportion des terres est actuellement cultivée. L'économie Congolaise repose principalement sur l'exploitation du pétrole et du bois tandis que les importations couvrent 90 % des besoins en céréales du pays. Le processus REDD+ a été lancé officiellement par le gouvernement de la République du Congo en janvier 2010 suivi trois ans plus tard par la mise en œuvre du plan de préparation à la REDD+.

Cette étude essaye 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. L'objectif du projet REDD-PAC est d'accompagner les institutions impliquées dans la REDD+ ainsi que dans la planification de la Stratégie Nationale et du Plan d'Action pour la Biodiversité en République du Congo.

Afin d'explorer dans un cadre simplifié les conséquences de changements futurs, le projet REDD-PAC a adapté le modèle GLOBIOM (GLObal Biosphere Management Model) au contexte du Bassin du Congo. 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 totale de simulation est 2000–2030. La première période 2000–2010 permet de tester la capacité du modèle à reproduire les tendances passées. Le modèle national couvre la République du Congo qui fait partie de la région Bassin du Congo qui regroupe tous les pays de la COMIFAC dans le modèle. Le Congo peut commercer avec les autres pays de la COMIFAC et avec les autres régions du monde. La production agricole et les changements d'utilisation des terres sont représentés au niveau de 218 unités spatiales.

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 en carbone et en biodiversité.

Il est très important pour les travaux de modélisation d'avoir une bonne représentation de la situation de départ. La localisation des terres cultivées varie beaucoup d'une carte de végétation à une autre, et les statistiques agricoles sont quasiment inexistantes pour le Congo. Pour pallier à ces problèmes, une carte hybride a été réalisée en combinant plusieurs cartes de végétation existantes après consultation avec les experts locaux. En l'absence de statistiques agricoles sous régionales, la production locale a été dérivée d'hypothèses de consommation locale et de commerce vers les principales villes.

Selon des projections modérées, 6 millions de personnes devraient vivre au Congo en 2030, dont 72 % dans les villes. De plus, le PIB par tête moyen devrait plus que doubler entre 2010 et 2030. Une population plus nombreuse et plus riche 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 15 000 hectares entre 2000 et 2010 à 25 000 hectares entre 2020 et 2030, causant l'émission de 238 millions de tCO₂ sur la période 2010–2030. Deux tiers de la déforestation observée entre 2010 et 2030 viennent de l'expansion du manioc et de l'arachide et des jachères associées et 6 % de l'expansion du palmier à huile. Le modèle prédit également une déforestation croissante due à l'expansion des pâturages.

La perte d'habitats constitue l'un des moteurs principaux de la perte de biodiversité. La République du Congo abrite deux espèces de Grands Singes qui sont fortement dépendantes de la présence de forêts naturelles pour leur habitat: le chimpanzé et le gorille des plaines occidentales. Ce sont aussi des espèces qui présentent un important potentiel pour le développement de l'écotourisme. Le modèle prédit une perte d'habitat pour les grands singes dans la Bouenza, l'Est de la Cuvette et le sud de la Likouala. Outre la perte directe d'habitat, l'expansion des zones agricoles entraînera une augmentation des contacts et par conséquent des conflits entre les singes et les Hommes.

La déforestation cumulée sur la période 2010–2030 varie entre 425 000 et 697 000 hectares selon les scénarios contre 449 000 hectares dans le scénario de base. La déforestation future prédite est plus faible lorsqu'il y a une amélioration des rendements agricoles, une expansion des aires protégées et une plus faible croissance de la population et du PIB. Au contraire, 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. La possibilité d'expansion de l'agriculture dans les concessions forestières existantes est le scénario qui augmente le plus la déforestation future.

En comparant les résultats de plusieurs scénarios sur la production agricole, les émissions liées aux changements d'usages des sols et les impacts sur la conservation et l'usage durable de la biodiversité, il semble qu'une augmentation de la productivité agricole et une croissance démographique et économique plus faible entraîneraient des gains significatifs à la fois pour le développement agricole, l'atténuation du changement climatique et la conservation de la biodiversité. À l'inverse, la combinaison d'une plus forte croissance économique et d'une plus forte croissance de la population entraînerait une dégradation de tous les indicateurs. Pour les autres politiques qui sont testées, on observe des arbitrages avec soit un gain pour le développement agricole mais des pertes pour l'environnement tels que l'expansion des palmiers à huile ou l'expansion agricole dans les concessions forestières, ou des gains pour le climat et la biodiversité mais des pertes pour le développement agricole, tel que le scénario sur l'expansion des aires protégées.

D'après nos résultats, un objectif de 250 000 hectares de palmiers à huile se traduirait par une augmentation de la déforestation de 140 000 hectares entre 2010 et 2030. Afin de minimiser l'impact sur les forêts et de s'assurer de la viabilité des plantations à long-terme, les zones les plus propices au développement des plantations devraient être identifiées au préalable. Les programmes visant l'augmentation des rendements des plantations devraient être continués et étendus. De plus, nos résultats montrent que les concessions forestières peuvent être un frein important à la déforestation. Les efforts qui ont été faits pour passer vers une exploitation forestière à faible impact au Congo doivent être poursuivis et aller de pair avec une meilleure valorisation des produits du bois pour assurer la rentabilité de l'exploitation à long terme. De plus, pour que les concessions forestières puissent également participer à conserver la biodiversité, la lutte contre le braconnage à l'intérieur des concessions forestières doit être assurée.

1 Introduction

Les émissions liées à la conversion des forêts tropicales sont estimées à près de 1 Pg de carbone par an sur la période 2000–2010, ce qui représente environ 12 % des émissions totales de Gaz à Effet de Serre (GES) sur la période (Hansen *et al.*, 2008). La protection de la forêt pourrait donc être un moyen efficace de lutter contre le réchauffement climatique. 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 souvent utilisé pour faire référence à ces cinq activités.

Les pays du Bassin du Congo ont exprimé dès le début des discussions, un grand intérêt dans 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 dans le cadre des négociations internationales sur le climat. Ils réaffirment par ailleurs, la vision des pays de l'espace Commission des Forêts d'Afrique Centrale (COMIFAC) sur le rôle des activités de 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, à la résilience des écosystèmes, ainsi que le renforcement des liens avec l'adaptation au changement climatique. Plusieurs spécificités du Bassin du Congo sous-tendent cette position : i) la déforestation et la dégradation forestière au niveau du Bassin du Congo sont historiquement faibles et celles-ci pourront difficilement diminuer et ii) l'aménagement forestier remplit un triple rôle de conservation, de croissance économique et de lutte contre la pauvreté qu'il faut absolument conforter (Kasulu *et al.*, Amougou et Hamel, 2008).

Le Congo est couvert à 65 % par la forêt dont 21 millions d'hectares de forêts denses humides. A l'heure actuelle, trois quarts des forêts denses humides de terre ferme du Congo sont occupées par les concessions forestières. Avec une faible densité de population et une population majoritairement urbaine, seulement une faible proportion des terres est actuellement cultivée. L'économie Congolaise repose principalement sur l'exploitation du pétrole et du bois tandis que les importations couvrent 90 % des besoins en céréales du pays. Le processus REDD+ a été lancé officiellement par le gouvernement de la République du Congo en janvier 2010 avec la rédaction du R-PP (Readiness Preparation Proposal). La phase 1 du processus REDD+ a commencé en Janvier 2013 par le biais du Fonds de Partenariat pour le Carbone Forestier (FCPF) de la Banque Mondiale et du Programme ONU-REDD. Dans ce cadre, 8 millions de dollars ont été mobilisés pour la mise en œuvre du R-PP en République du Congo.

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.

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. La République du Congo est partie à la Convention sur la Diversité Biologique (CDB), ratifiée en 1996. 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. La République du Congo a publié ses SPANBs révisées qui intègrent les Objectifs du Plan Stratégique d'Aichi pour la biodiversité en 2015. Le Plan de Convergence de la COMIFAC¹, dont la République du Congo fait partie, promeut également l'adoption de politiques de gestion durables des forêts dans la sous-région.

La REDD+ présente de nombreuses opportunités potentielles de bénéfiques pour la biodiversité, les services écosystémiques et l'économie verte. 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 bénéfiques 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+.

¹ Le Plan de Convergence de la COMIFAC a été révisé en 2014.

Alors que la République du Congo est en train de développer sa Stratégie Nationale REDD+, une opportunité se présente d'intégrer des considérations liées aux bénéfices multiples de la REDD+ avec les objectifs de la CBD. Une telle intégration renforcerait la cohérence des différents agendas environnementaux du pays.

Le projet REDD-PAC (« REDD+ Policy Assessment Center » ou « Centre d'Évaluation 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 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. Ce rapport présente la méthodologie et les résultats du projet REDD-PAC pour la République du Congo. 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.

2 Etat des lieux de l'initiative REDD+ en République du Congo

Depuis 2008 la République du Congo est engagée dans le processus REDD+, et a montré des progrès significatifs par rapport aux éléments de la phase préparatoire du mécanisme. La Stratégie Nationale REDD+ en République du Congo se base sur trois objectifs majeurs: (i) contribuer à la lutte contre les changements climatiques, (ii) lutter contre la pauvreté et (iii) asseoir efficacement les bases d'une économie verte, l'un des outils du développement durable du pays. Un accent particulier est mis sur : (i) la mobilisation des fonds qui répondent à la vision et aux ambitions nationales en matière de REDD+, (ii) l'amélioration du cadre macroéconomique nationale et la croissance économique du pays, (iii) l'amélioration des conditions de vie des populations et la lutte contre la pauvreté. La Stratégie Nationale REDD+ est en cours de finalisation, et structuré sur la base de quatre objectifs stratégiques d'intervention (options stratégiques). En plus, la République du Congo a mis au point une série de Principes, Critères et Indicateurs REDD+ (PCI-REDD) en réponse aux exigences de la CCNUCC décrites par les garanties de Cancun.

2.1 Etude des moteurs de la déforestation

Une analyse préliminaire sur les moteurs de la déforestation et la dégradation des forêts a été réalisée pour la rédaction du R-PP et a ensuite été complétée par une étude des causes approfondie de la déforestation et de la dégradation forestière en 2013. Les principales causes de la déforestation seraient d'après cette étude l'agriculture et le développement des infrastructures tandis que les principales causes de dégradation forestière sont le bois énergie et l'exploitation forestière. Plus précisément :

- Le **secteur agricole** est la principale cause, passée et actuelle, de déforestation et dégradation en particulier du fait de l'agriculture familiale ou traditionnelle qui est la plus pratiquée en République du Congo. Dans ce mode de production, la jachère est traditionnellement utilisée. La jachère tend à augmenter les besoins en terre pour l'agriculture mais en l'absence d'engrais, elle est le principal moyen pour restaurer la fertilité des sols après la mise en culture.
- Le **bois demeure la principale source d'énergie domestique des ménages** urbains et ruraux en République du Congo. L'utilisation non durable des forêts pour couvrir les besoins énergétiques s'observe fréquemment au Congo plus particulièrement dans des forêts naturelles se trouvant proches des grands centres urbains et les forêts galerie dans les zones de savane. Les énergies alternatives au bois sont trop coûteuses pour la majorité des ménages.

- **L'étalement urbain** est une cause directe de la déforestation et de la dégradation des forêts. Cet étalement urbain s'accompagne d'une augmentation de l'exploitation forestière, souvent illégale, afin d'alimenter le marché des grandes villes en bois de feu et bois d'œuvre.
- **L'exploitation forestière** pratiquée au Congo est très sélective avec en moyenne 11 m³ de bois par hectare. L'exploitation industrielle peut entraîner une augmentation de la déforestation à travers la réalisation d'infrastructures pour l'évacuation du bois qui facilitent l'accès à la forêt pour la population locale. Cependant, la déforestation dans les zones d'exploitation forestière est actuellement limitée du fait de la faible densité de population dans ces zones.
- Hormis le pétrole, actuellement exploité en off-shore, les **prospections minières** (or, fer, diamant, potasse etc.) n'ont pas encore abouti à des permis d'exploitation d'assez grande ampleur pour avoir des conséquences importantes en matière de déforestation et de dégradation. De nombreuses explorations sont en cours et pourraient déboucher sur de l'extraction de fer, d'or et de pétrole sur terre ferme. L'exploration est peu perturbatrice, mais l'exploitation pourrait conduire à une destruction directe des forêts ou des écosystèmes (mines à ciel ouvert, pollution au mercure, souillage des ressources en eau et des sols, etc.) et indirecte via l'installation des populations en forêt.

2.2 Définition du niveau de référence des émissions issues des forêts

La CCNUCC définit les niveaux d'émissions de référence des forêts et/ou les niveaux de référence des forêts (NERF/NRF) comme «[...] **des repères pour évaluer la performance de chaque pays dans la mise en œuvre des activités [REDD+].**» Les décisions prises par la Conférence des Parties de la CCNUCC indiquent également que le NRF devrait prendre en compte les données historiques pour les projections futures et ajuster celles-ci en fonction des circonstances nationales (CCNUCC, la décision 4 / CP15). En février 2015, la République du Congo a défini le protocole technique pour la détermination du niveau de référence adapté à la REDD+. Celui-ci précise les points suivants :

- La forêt est définie pour une superficie minimale de 0,5 hectares, une couverture arborée minimale de 30 % et une hauteur d'arbre minimale de 3 mètres.
- Les activités considérées sont la déforestation planifiée, la déforestation non-planifiée, la dégradation planifiée, et la dégradation non-planifiée. Planifiée signifie ici « autorisée par les structures compétentes de l'Etat ». Il est précisé que la déforestation planifiée n'a commencé qu'en 2012 au Congo et n'est donc pas présente dans le taux historique. Le reboisement n'est pas inclus dans ce Niveau de Référence préliminaire.
- Les réservoirs de carbone pris en compte sont la biomasse vivante aérienne et la biomasse vivante souterraine.
- La période historique qui est choisie pour le calcul du NERF est la période 2000–2010 ou la période 2000–2012.
- Selon l'état d'avancement des travaux de l'Inventaire Forestier National (IFN) les facteurs d'émission (FE) seront calculés en utilisant les données de l'IFN ou en utilisant d'autres sources.

L'ajustement des données historiques par les circonstances nationales peut être justifié par le fait que les émissions historiques ne reflètent pas les émissions futures probables, par exemple dans des pays avec des niveaux de déforestation historiquement bas et avec une forte croissance de la population. Les modèles peuvent aider à mettre en évidence quels sont les facteurs qui ont un impact important sur l'évolution future de la déforestation et peuvent donc être utiles pour l'ajustement aux circonstances nationales. Mais tout modèle utilisé pour soutenir le développement d'un NERF/NRF doit être clairement documenté, y compris sur l'ensemble des données et des hypothèses utilisées, et être mis à jour régulièrement pour intégrer de nouvelles données et être en phase avec les communications nationales et les inventaires de GES. Ceci peut représenter un défi pour des modèles qui peuvent être complexes et qui utilisent beaucoup de données différentes.

La CCNUCC précise que NERFs/NRFs devraient maintenir la cohérence avec les inventaires nationaux de GES, notamment sur la définition de la forêt utilisée, fournir de une information transparente, complète, cohérente et précise sur les données utilisées et le raisonnement qui a conduit au développement du NERF/NRF, et permettre une approche par étapes et l'utilisation de NERFs/NRFs sous-nationaux à titre provisoire (CCNUCC, décision 12/CP.17). Cette dernière disposition permet aux pays d'améliorer leur NERF/NRF au fil du temps en intégrant de meilleures données, en améliorant la méthodologie et, le cas échéant, en prenant en compte des réservoirs de carbone supplémentaires.

Conformément à la note de la position commune des pays de la COMIFAC, qui souhaitent que le niveau de référence soit basé sur les émissions historiques et prenne en compte les politiques futures de développement économique et social, le niveau de référence envisagé par la République du Congo devrait être calculé sur la base d'un scénario de référence historique ajusté.

3 Le modèle

3.1 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 (Havlík *et al.* 2011; Mosnier *et al.* 2013). 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. 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 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. 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 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 et les impacts sur la biodiversité.** Les émissions liées à la déforestation et à la dégradation forestière dépendent de la localisation du contenu carbone de la forêt qui est détruite. Le contenu carbone varie beaucoup entre une forêt sèche ou une forêt dense humide par exemple. De même, 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.

Le modèle utilise une base de données mondiale qui a été enrichie avec des données nationales². 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 (Figure 1).

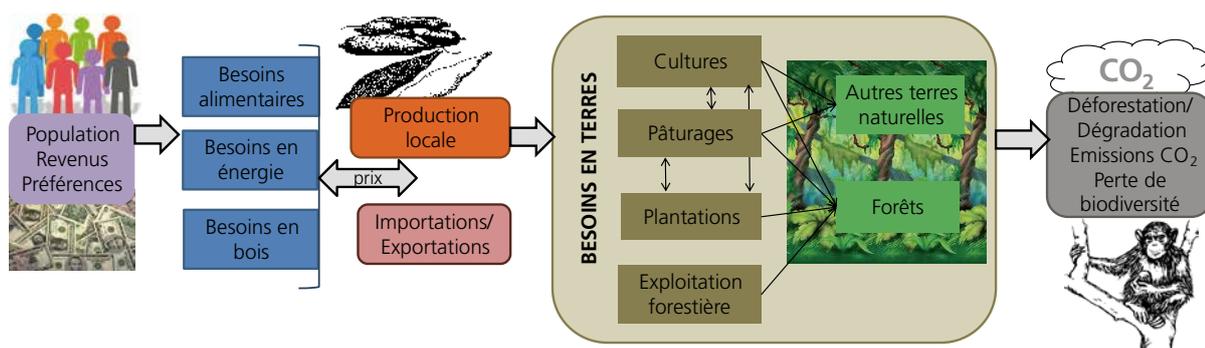


Figure 1. La déforestation future dépend des besoins futurs en nourriture, en bois et en énergie dans le modèle GLOBIOM

² voir www.redd-pac.org pour une description de la base de données

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 surplus³ 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.

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

³ Le surplus des consommateurs est une évaluation monétaire de la satisfaction qu'ils retirent de leurs consommations. Le surplus des producteurs est la somme de leurs profits.

représentés 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).

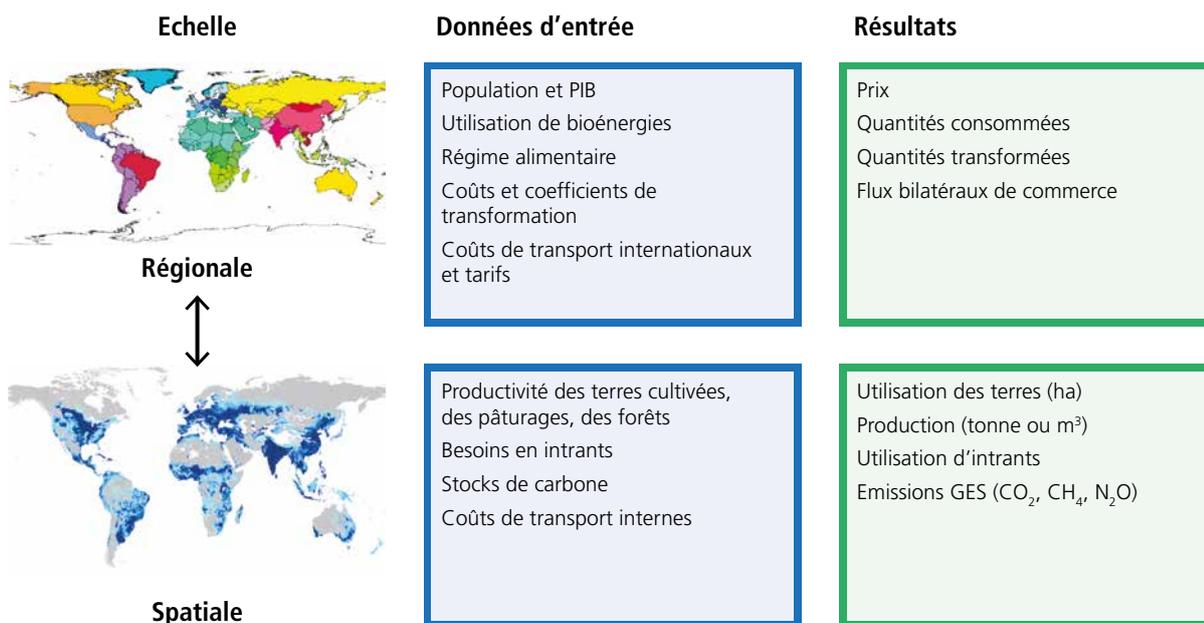


Figure 2: Principales données d'entrée et de sortie du modèle GLOBIOM à différentes échelles

Dans GLOBIOM, toutes les données spatiales d'entrée sont disponibles au niveau de l'unité de simulation. La Figure 3: Eléments utilisés pour la délimitation des unités de simulation montre comment les unités de simulation ont été construites. Les unités de simulation sont définies par la combinaison de pixels de taille de ~10x10km qui sont dans un même pays (ligne hachurée), un même pixel de taille de ~50x50km (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 10x10km et 50x50km (dans l'exemple ci-dessous, 27 unités de simulation sont représentées avec chacune une couleur différente dans l'image de droite).

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 Leontieff⁴. 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.

4 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.

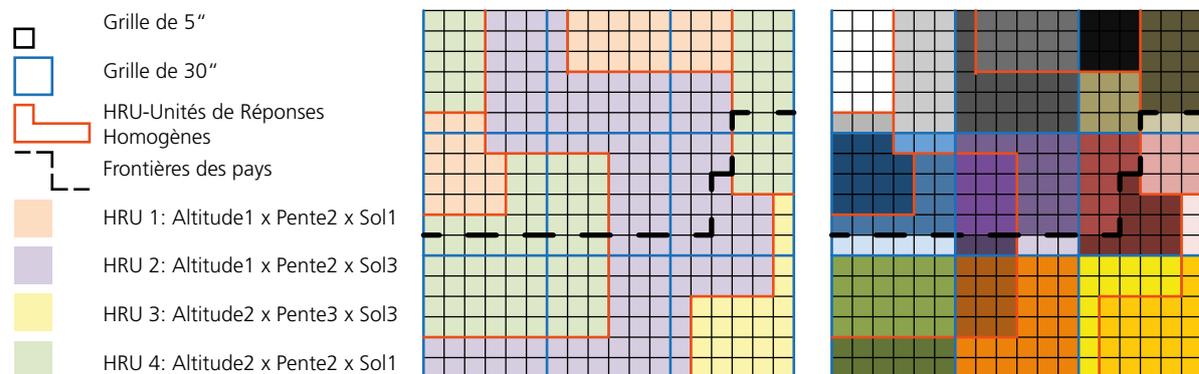


Figure 3: Eléments utilisés pour la délimitation des unités de simulation

3.2 Le modèle GLOBIOM

GLOBIOM avait déjà été adapté au contexte des pays du Bassin du Congo (GLOBIOM) 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. Ce résultat était lié à une forte augmentation de la consommation après la chute des prix provoquée par l'introduction du progrès technique. Ainsi, une partie de cette demande supplémentaire devait être satisfaite 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 coûts 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 où la déforestation augmentait.

Les principales limites de l'étude qui avaient été soulignées par les participants à l'atelier de restitution de l'étude en 2010 étaient:

- « En réalité, les décisions politiques sont prises au niveau des pays et pas au niveau de la région COMIFAC, il serait donc souhaitable de développer des modèles nationaux pour informer le processus REDD+. » cf. section 2.3.

- « 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 (Havlik et al., 2014) (cf. section 4.4.5.)
- « 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 et des sessions de « l'école REDD-PAC », 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 (cf. section 3).

3.3 Le modèle GLOBIOM-ROC

Pour le projet REDD-PAC il a été décidé d'élargir le modèle sous régional à l'ensemble des pays de la COMIFAC (les 6 pays nommés ci-dessus plus le Rwanda, le Burundi, et le Chad⁵) et de développer des modèles nationaux pour 3 pays pilotes : la RDC, la République du Congo (ROC) et le Cameroun. La région COMIFAC est reliée aux autres régions de GLOBIOM tandis que ROC peut également commercer avec les autres sous-régions de l'espace COMIFAC : le Cameroun, la République Démocratique du Congo, l'Ouest qui inclut le Gabon et la Guinée Equatoriale, le Nord qui inclut le Chad et la République Centrafricaine et l'Est qui inclut le Rwanda et le Burundi.

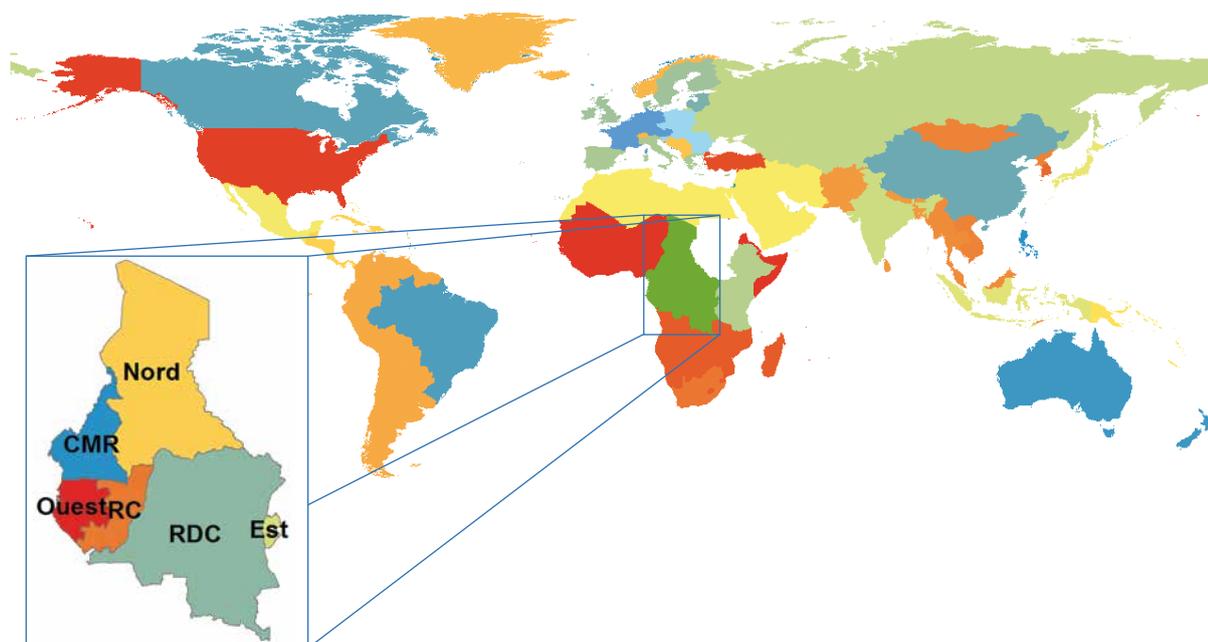


Figure 4 : La République du Congo (ROC) est une sous-région de la zone COMIFAC (droite) qui est reliée aux 29 autres régions du modèle mondial (gauche)

5 Sao Tome et Principe fait également partie de l'espace COMIFAC mais n'est pas intégrée dans GLOBIOM à l'heure actuelle.

Au total, la République du Congo comprend 1420 unités de simulation dont la taille varie entre ~50 000 et 300 000 hectares (Figure 5a). Toutes les données d'entrée spatiales du modèle sont intégrées au niveau de l'unité de simulation. Quelques statistiques de production sont disponibles au niveau du premier niveau administratif du Congo (Figure 5c). Une des premières tâches a été de calculer l'intersection de chaque unité de simulation avec chaque département. Le niveau de résolution de la grille finale du modèle pendant le processus d'optimisation est de ~50x50km (30 arcmin), ce qui résulte en 218 unités spatiales (Figure 5b). A titre de comparaison, dans les autres régions de GLOBIOM le niveau de résolution pendant les simulations est 4 fois plus élevé.

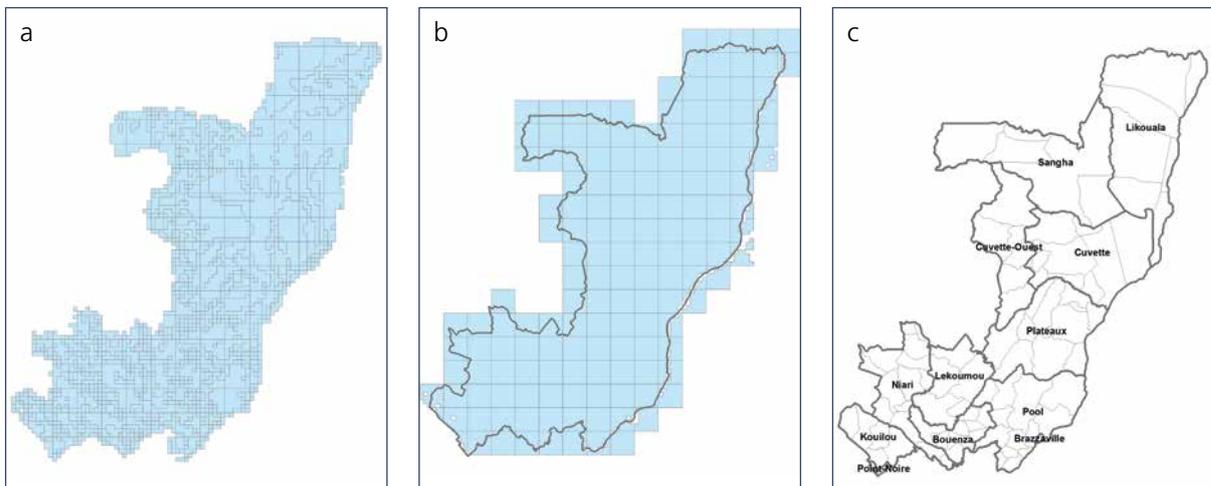


Figure 5. Les unités de simulation (a), la grille de 30 ArcMin (b) et les départements (c) en République du Congo

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. Beaucoup d'efforts ont été mis dans la collecte de données spécifiques à la République du Congo pour remplacer les informations issues des bases de données mondiales, dont une carte nationale d'occupation des sols, des statistiques agricoles et forestières au niveau sous-national, et les politiques nationales réglant l'usage des forêts.

La carte de couverture végétale forme la première couche d'information du modèle. Les cartes de couverture végétale sont réalisées en analysant les données satellite, or la couverture nuageuse est très présente dans le Bassin du Congo et complique l'analyse de ces données. La carte qui est utilisée par défaut dans GLOBIOM est la carte de Global Land Cover (GLC) qui a été réalisée par le Joint Research Institute (JRC) pour l'année 2000. Or, la répartition des terres cultivées semblait poser quelques problèmes. Il a donc été décidé de choisir une nouvelle carte de couvert végétal pour la RC qui sera présentée dans la section 4 de ce document.

Une attention particulière a également été portée à l'amélioration de la représentation des moteurs de la déforestation et de la dégradation forestière en RC. Les cadres logiques de la déforestation et de la dégradation des forêts par secteur ont été réalisés lors d'un atelier tenu à Brazzaville avec des représentants des différents ministères et de la CN-REDD (Section 3.4).

La liste exhaustive des changements effectués dans le modèle pour cette étude est présentée en annexe.

3.4 Principaux drivers de la déforestation en République du Congo et représentation dans le modèle GLOBIOM-ROC

Cette section s'appuie sur les schémas de causalité entre différents types de besoins et leur impact final sur le couvert forestier élaborés par des représentants de différents Ministères qui ont participé à l'atelier REDD-PAC à Brazzaville les 29 et 30 janvier 2015. Pour chaque type de besoin, la chaîne de causalité jusqu'à la déforestation planifiée, la déforestation non-planifiée, la dégradation planifiée ou la dégradation non-planifiée est d'abord décrite. Ensuite, nous expliquons comment cela est représenté dans GLOBIOM.

3.4.1 Les besoins alimentaires

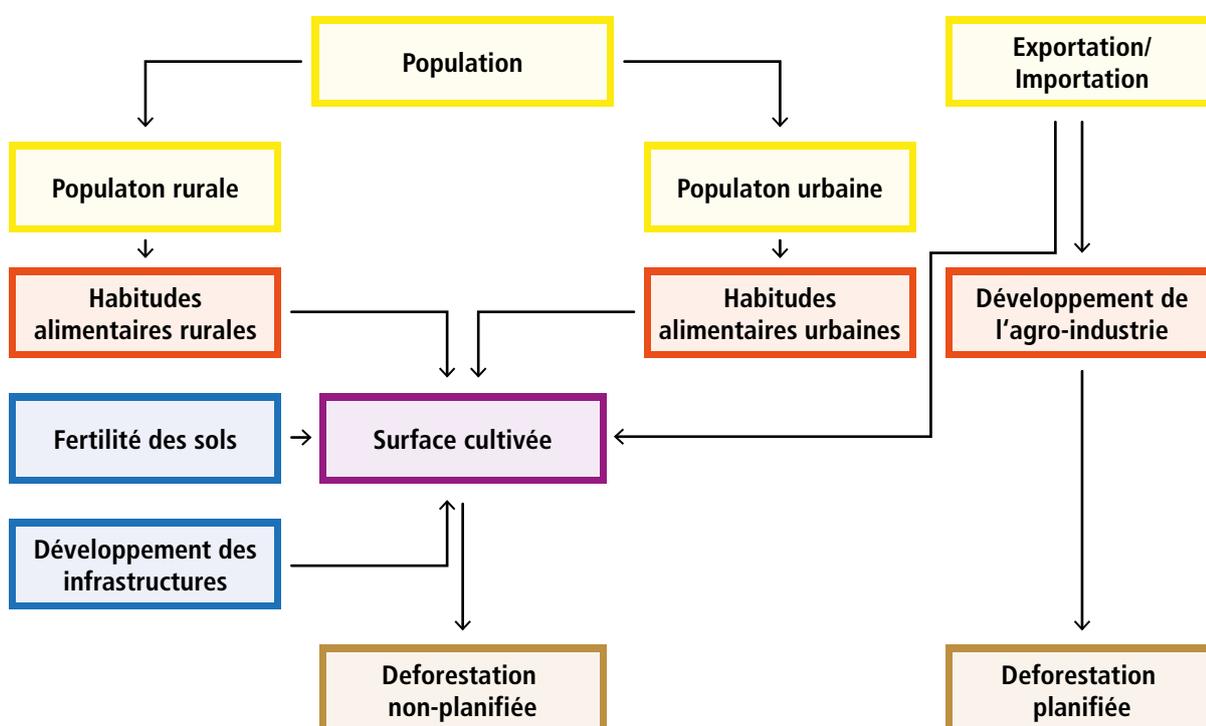


Figure 6. Les impacts des besoins alimentaires sur la dégradation forestière et la déforestation

Description du schéma logique : Les besoins alimentaires dépendent de l'évolution de la population Congolaise mais aussi de la répartition de cette population entre ruraux et urbains qui ont des habitudes alimentaires différentes (Figure 6). Si la demande alimentaire est satisfaite par la production locale, cela se traduit par des besoins en terres pour l'agriculture (surfaces cultivées). Les surfaces cultivées vont également dépendre de l'évolution de la fertilité des sols et du développement des infrastructures. Les nouveaux besoins en terre pour l'agriculture de subsistance peuvent mener à une déforestation non-planifiée. Le développement des agro-industries est déterminé par l'évolution de la demande extérieure du pays pour certains produits tels que l'huile de palme, le cacao et le café en accord avec l'Etat qui attribue les concessions. Cela peut mener à une déforestation planifiée.

Représentation dans le modèle : Dans le modèle, l'évolution des besoins en terres agricoles est le principal moteur de changements d'utilisation des terres. Les terres agricoles comprennent les terres cultivées comme mentionné ci-dessus mais également les pâturages pour l'élevage. Les besoins sont dé-

terminés par l'évolution de la population mais aussi l'évolution des revenus : l'augmentation des revenus entraîne une augmentation de la consommation alimentaire totale et en particulier de la consommation de viande. Différentes élasticités de consommation par rapport à l'évolution du revenu permettent de représenter ces changements (Alexandratos & Bruinsma, 2012) 2006. Dans le modèle on distingue également les besoins de la population urbaine (définition : villes >300 000 habitants), qui peuvent être satisfaites soit par la production locale soit par des importations alimentaires selon ce qui coûte le moins cher, et la population rurale qui doit produire une part importante de sa consommation alimentaire. La fertilité des sols est prise en compte à travers la productivité des cultures (en tonnes par hectare) telle qu'estimée par le modèle EPIC (www.iiasa.ac.at/EPIC). Cette productivité varie à l'intérieur du pays selon les conditions climatiques, la topographie et les types de sol. Le développement des infrastructures réduit les coûts de transports du lieu de la production vers les centres de consommation ce qui incite à la fois les consommateurs à augmenter leur consommation car les produits coûtent moins cher et les producteurs à augmenter leur production car ils peuvent avoir des prix plus avantageux.

3.4.2 Les besoins en énergie

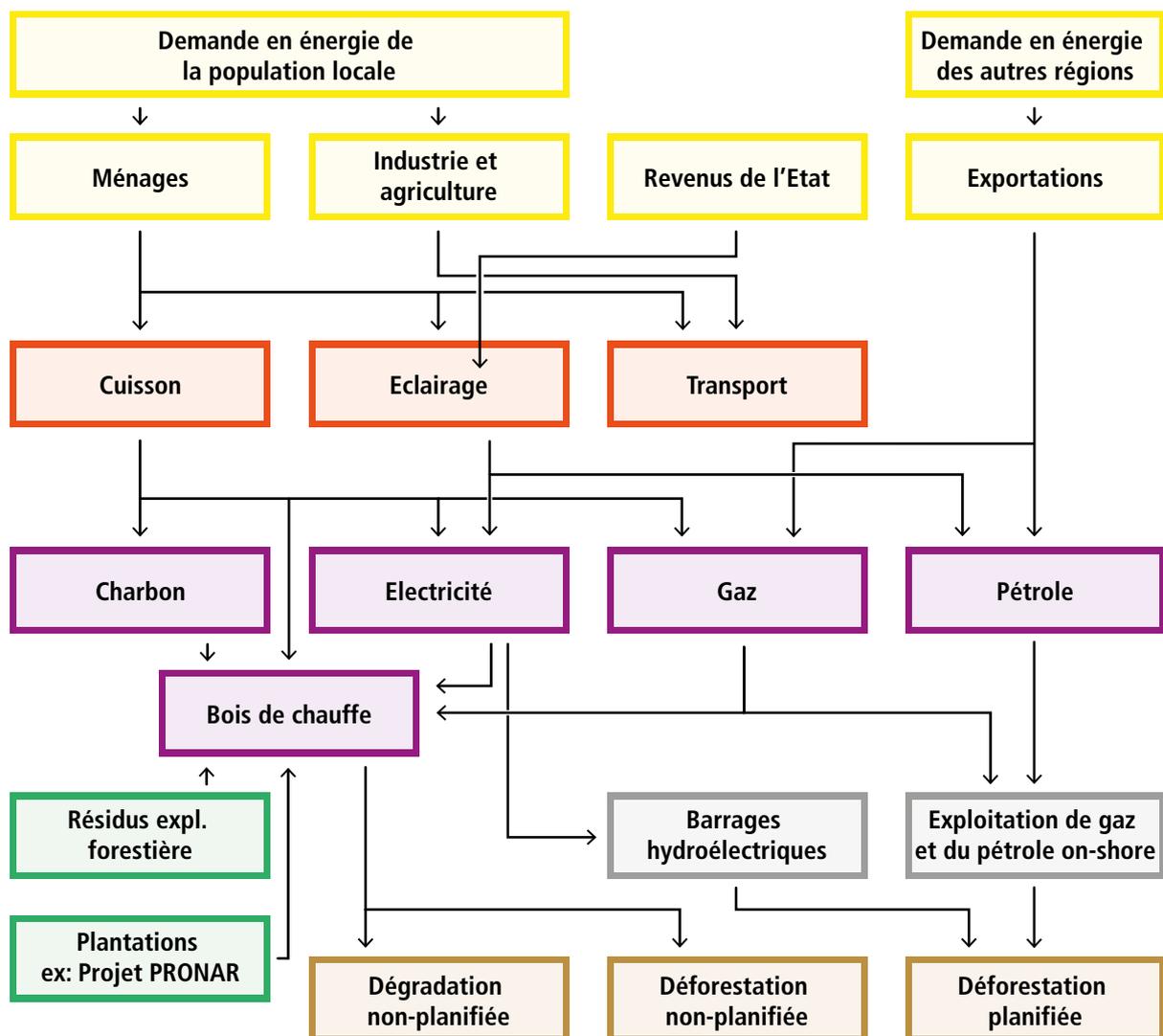


Figure 7. Les impacts des besoins en énergie sur la dégradation forestière et la déforestation

Description du schéma logique : Les participants de l'atelier ont commencé par identifier les besoins en énergie des ménages. Leurs besoins en cuisson peuvent être satisfaits par le charbon ou le bois de chauffe qui sont les principales sources d'approvisionnement à l'heure actuelle mais aussi par l'électricité (plaques chauffantes), le gaz ou le pétrole qui pourraient être des alternatives à l'avenir. La collecte récurrente de bois de chauffe provoque une dégradation voire une déforestation non-planifiée mais l'impact dépend aussi de l'efficacité des foyers et de la carbonisation du bois pour produire du charbon (Figure 7). L'impact des besoins en bois de chauffe sur les forêts peut être atténué par l'utilisation des résidus de l'exploitation forestière ou de plantations d'essences à croissance rapide telles qu'envisagées dans le projet ProNAR.

Représentation dans le modèle : Le modèle ne comprend que les secteurs agriculture, foresterie et bioénergie. Les prélèvements pour le bois de chauffe peuvent être associés à l'agriculture de subsistance ou être effectués de manière informelle dans les forêts non-gérées. Dans le modèle GLOBIOM-ROC, nous avons introduit la demande en énergie pour la cuisson au niveau de la République du Congo selon nos propres calculs. Elle dépend de l'évolution de la population totale et de la part de la population qui vit en milieu rural et en milieu urbain. En effet, le charbon est préféré par les ménages urbains car il a l'avantage d'être plus facile à transporter et à stocker, et car son rendement énergétique est le double du bois de chauffe tandis qu'en zone rurale où la ressource en bois est facile d'accès, le bois énergie domine largement.

Par défaut dans le modèle, nous faisons l'hypothèse que 60 % des ménages urbains Congolais utilisent le charbon pour la cuisson et que la population rurale utilise uniquement le bois de chauffe. Comme le charbon et le bois de chauffe ont des rendements énergétiques différents⁶ (Figure 8), nous utilisons les estimations de l'ONU quant à l'évolution de la part de ruraux et d'urbains dans la population pour calculer le rendement énergétique moyen pour la cuisson au niveau du pays (même hypothèse pour tous les scénarios). Ainsi en 2000, avec 58 % d'urbains le rendement moyen est égal à 6.02 GJ/m³ au niveau national (58 % x 5.14 + 42 % x 7.24 GJ/m³), mais en 2030 avec 71 % d'urbains, ce rendement énergétique moyen diminue pour atteindre 5.75 GJ/m³ en 2030 (71 % x 5.14 + 42 % x 7.24 GJ/m³). L'urbanisation croissante de la population entraînera une augmentation des besoins en bois énergie, car si la technologie de production du charbon et les foyers de cuisson restent les mêmes qu'aujourd'hui l'utilisation du charbon double les besoins en bois par rapport aux méthodes traditionnelles de cuisson en zone rurale.

Pour calculer la demande initiale en énergie pour la cuisson nous utilisons la consommation d'énergie moyenne par habitant de 2000 en bois de chauffe (production de bois de chauffe reportée par la FAO) ajustée par la croissance de la population et le changement d'efficacité énergétique suite à une plus grande utilisation du charbon du fait de l'urbanisation croissante.

⁶ Le charbon de bois nécessite une première conversion du bois en charbon avant d'être converti de nouveau en énergie. Nous faisons l'hypothèse que la carbonisation se fait principalement par des meules traditionnelles de carbonisation dont le rendement pondéral moyen est estimé autour de 15 %. De plus, les braseros métalliques pour le charbon sont les plus courants modes de cuisson en ville.

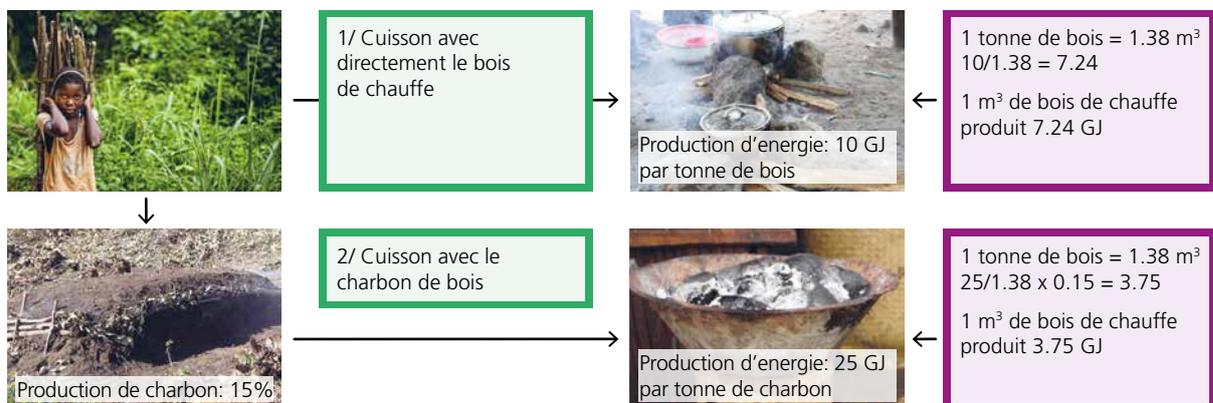


Figure 8. Conversion de bois de chauffe et de charbon en énergie pour la cuisson

3.4.3 Les besoins en bois d'œuvre

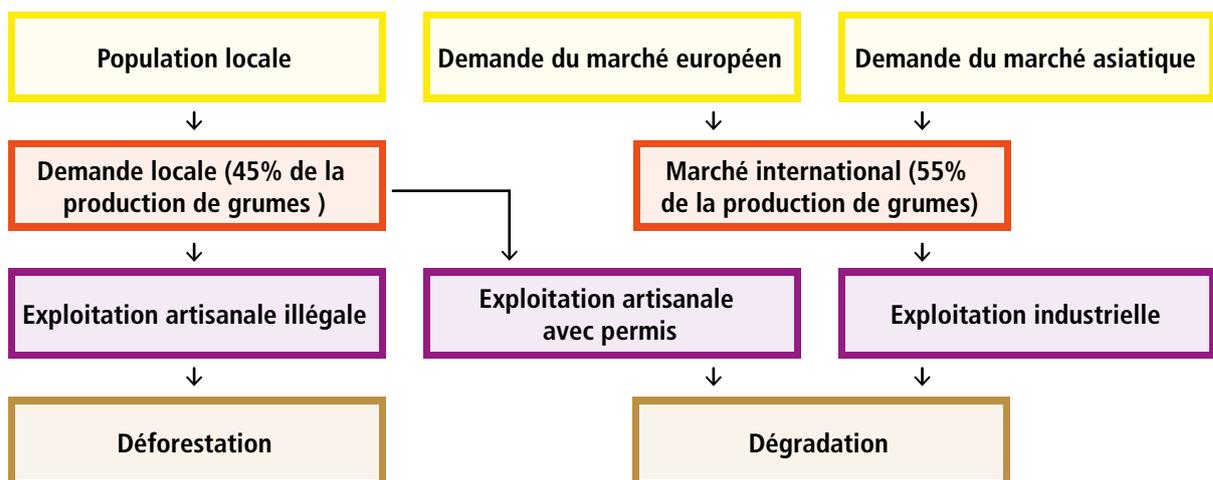


Figure 9. Les impacts des besoins en bois d'œuvre sur la dégradation forestière et la déforestation

Description du schéma logique : Les participants ont distingué trois marchés séparés – la demande de la population locale, le marché européen ainsi qu'asiatique. Pour satisfaire ces besoins, trois types d'exploitation forestière ont lieu au Congo : l'exploitation industrielle, l'exploitation artisanale formelle ainsi que l'exploitation artisanale illégale. L'exploitation industrielle répond aux besoins du marché européen et asiatique tandis que l'exploitation artisanale approvisionne le marché local. Tandis que l'exploitation formelle industrielle et l'exploitation formelle artisanale peuvent en pratique entraîner une dégradation forestière, l'exploitation artisanale illégale récurrente peut entraîner une déforestation (Figure 9). Actuellement au Congo les permis artisanaux ne sont plus délivrés, seules les concessions existantes sont formalisées.

Représentation dans le modèle : En générale le modèle prend en compte tous les éléments du schéma. L'exploitation artisanale est représentée de manière simplifiée en omettant la différence entre les activités formelles et illégales. En plus des éléments identifiés lors de l'atelier, le modèle prend également en compte le développement économique du pays mesuré par le produit intérieur brut (PIB) ainsi que la demande en bois d'œuvre d'autres régions du monde. Le modèle dans sa configuration actuelle ne permet que la dégradation – pas la déforestation – liée aux activités de l'exploitation pour le bois d'œuvre. Les forêts localisées dans des aires protégées où il n'y a pas de concessions à l'heure actuelle ainsi que les forêts inondées sont classées non disponibles pour l'exploitation forestière.

3.4.4 Les besoins en minerais

Description du schéma logique : Les besoins en minerais viennent principalement de la demande extérieure au Congo. Les permis miniers sont octroyés par l'Etat Congolais après que la conformité avec le cadre législatif soit vérifiée et la réalisation de plusieurs études aient été menées. L'autorisation de permis miniers conduit par conséquent à une déforestation planifiée liée à l'exploitation. Cependant, la réalisation d'infrastructures de transport pour évacuer les minerais vers les villes ou les ports et l'installation de la main d'œuvre avec leurs familles peuvent induire le développement spontané d'activités d'orpaillage ou d'agriculture. Ces effets indirects peuvent avoir pour corollaire la déforestation ainsi que la dégradation non-planifiée des forêts (Figure 10. Les impacts des besoins en minerais sur la dégradation forestière et la déforestation).

Représentation dans le modèle : Le module « mines » est en cours de développement. Une fois que les données spatiales concernant ces activités minières seront disponibles, l'approche de modélisation qui est envisagée est d'estimer les impacts directs en fonction de la taille de la mine et du type de minerai exploité et indirects selon le nombre de travailleurs multiplié par la taille moyenne d'un ménage Congolais. Cela donnera lieu à l'émergence d'une demande alimentaire et en énergie nouvelle au niveau local qui pourra être satisfaite selon les mécanismes décrits ci-dessus. Les infrastructures planifiées dans le cadre de l'exploitation minière peuvent également être intégrées dans le calcul de réduction des coûts de transport.

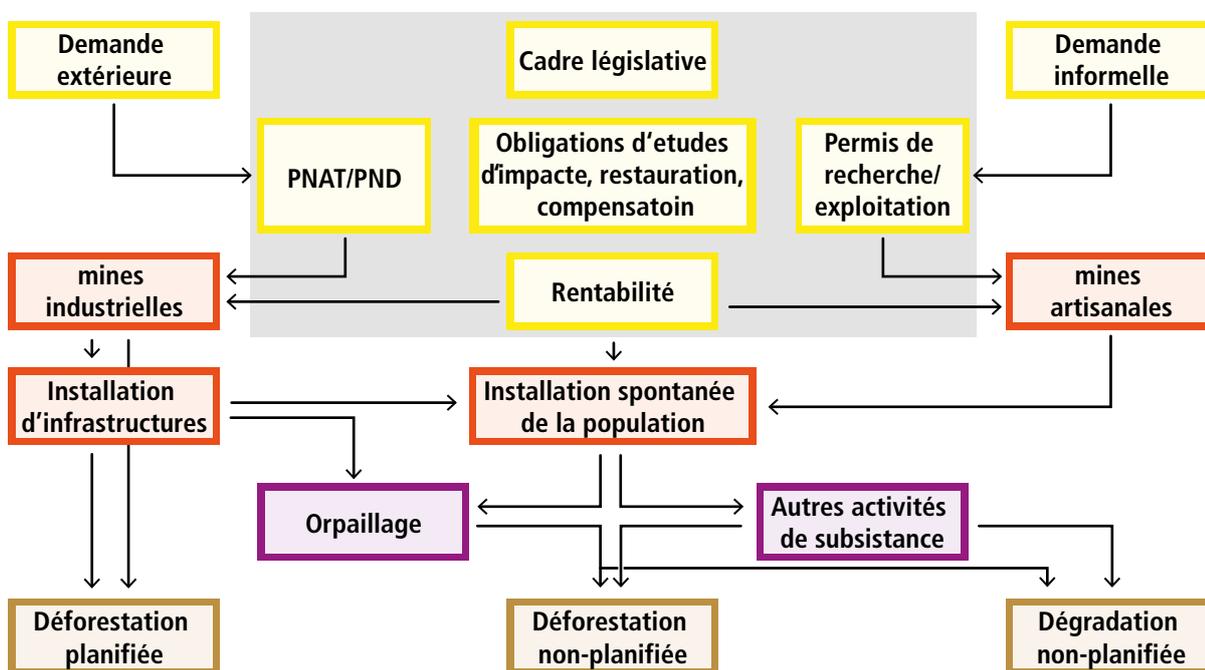


Figure 10. Les impacts des besoins en minerais sur la dégradation forestière et la déforestation

4 La carte d'utilisation des terres

4.1 Les cartes de végétation mondiales

4.1.1 GLC 2000

La carte Global Land Cover 2000 a été réalisée par le Centre Commun de Recherche⁷ en utilisant les images satellite du programme SPOT 4 VEGETATION 1 entre novembre 1999 et décembre 2000⁸ et le système de classification des types de végétation de la FAO (Di Gregorio et Jansen, 2000). En tout, 22 classes de végétation ont été cartographiées. Des cartes régionales ont d'abord été réalisées (cf. Mayaux *et al.*, 2003 pour l'Afrique) puis fusionnées pour créer une carte mondiale à une résolution spatiale de 1km à l'Equateur.

4.1.2 GlobCover 2005–2006

Le projet GlobCover a commencé en 2005 sur une initiative de l'Agence Spatiale Européenne en collaboration avec le Centre de Recherche Commun, la FAO, le PNUE, l'initiative GOF-C-GOLD et le Programme International pour la Géosphère-Biosphère (IGBP). Les images satellite à haute résolution de ENVISAT-MERIS acquises entre Décembre 2004 et Juin 2006 ont été utilisées pour produire une carte de végétation mondiale à une résolution spatiale de 300m (Defourny *et al.* 2006). La classification repose comme GLC2000 sur la classification de la FAO (22 classes) mais est étendue à 51 classes.

4.1.3 MODIS collection 5

La carte de végétation MODIS a été réalisée par l'Agence Spatiale Américaine (NASA) sur la base d'images satellite MODIS. Les cartes mondiales de végétation ont été produites pour chaque année entre 2000 et 2010 à une résolution spatiale de 500m. Comme l'année de base du modèle GLOBIOM est l'année 2000, nous utilisons ici la carte MODIS pour 2000. 17 classes sont cartographiées selon la classification faite par IGBP.

4.2 Les cartes de végétation régionales ou spécifiques à la République du Congo

4.2.1 UCL 2005

Cette carte comprend les 8 pays du Bassin du Congo – le Cameroun, la République du Congo, la République centrafricaine, la RDC, le Gabon, la Guinée Equatoriale, le Burundi et le Rwanda – en utilisant des données satellite de ENVISAT-MERIS d'une résolution spatiale de 300m collectées entre Décembre 2004 et Juin 2006, et des images de SPOT VEGETATION collectées entre 2000 et 2007 à un niveau de résolution de 1 km (Verhegghen *et al.*, 2012) 20 classes ont été distinguées sur la même base que la typologie de la FAO.

7 Le Centre de Recherche Commun, aussi communément appelé le JRC pour *Joint Research Centre* en anglais, est le laboratoire de recherche scientifique et technique de l'Union Européenne.

8 <http://www.cnes.fr/web/1468-vegetation.php>

4.2.2 FACET

La carte FACET utilise les données satellite Landsat et les données satellite MODIS. 8881 images Landsat avec moins de 50 % de couverture nuageuse produites entre 2000 et 2010 ont été utilisées tandis qu'un ensemble de mesures dérivées de MODIS entre 2000 et 2009 ont permis de normaliser les images Landsat pour la classification de la forêt et du changement de couverture forestière (Potapov *et al.*, 2012). La forêt est répartie en trois classes : la forêt tropicale humide primaire, la forêt tropicale humide secondaire et les autres terres boisées. La définition de la forêt utilisée est une couverture de la canopée de 30 % minimum et une hauteur de 5m minimum. Les terres non-forestières ne sont malheureusement pas discriminées entre les différents types de végétation et les terres cultivées. La carte de végétation de base est disponible pour 2000 tandis que les cartes de déforestation ont été produites pour les périodes 2000–2005 et 2005–2010 à un niveau de résolution spatiale de 60m.

4.2.3 GAF

L'objectif principal était de déterminer l'évolution historique du couvert forestier au Congo sur la base de données satellitaire à haute résolution au cours des époques 1990, 2000 et 2010. Pour les époques historiques de 1990 et 2000, les données satellitaires sont principalement composées de scènes Landsat TM et ETM tandis que pour 2010, des scènes SPOT4 et SPOT5, DMC, RapidEye, Landsat 7 et Landsat 8 ont été utilisées. Comme pour FACET, les cartes produites par le consortium mené par GAF ne distinguent pas les classes de non-forêt.

4.3 Comparaison des cartes existantes pour la République du Congo

Pour la République du Congo, les 6 cartes décrites précédemment ont été analysées : GLC2000, Globcover, MODIS, UCL2010, FACET et GAF. Une première étape afin de pouvoir mieux comparer les cartes existantes a été de les agréger dans les mêmes classes de végétation (cf. www.geo-wiki.org pour la visualisation). Nous avons essayé d'être cohérents avec la définition de la forêt selon la RC : *la couverture de la canopée doit représenter plus de 30 % de la superficie sur une superficie supérieure à 0.5 ha et pour une hauteur supérieure à 3 m*. Cette définition est plus restrictive que celle employée par la FAO ou la couverture de la canopée doit être seulement supérieure à 10 % (FAO 2010). Les différents types de couverture végétale qui sont représentés dans GLOBIOM-ROC sont : les terres cultivées, les pâturages, les forêts humides, les forêts sèches, les forêts inondées, les autres zones inondées et les autres terres naturelles. Il a été décidé d'utiliser plutôt une carte hybride ou plusieurs cartes peuvent être utilisées pour représenter au mieux une certaine classe de couvert végétal ou le couvert végétal d'une certaine région.

Les incertitudes sont grandes quant à l'utilisation actuelle des terres au Congo, particulièrement pour les terres agricoles (Figure 11. Localisation des terres arables en République du Congo selon différentes sources (Figure 12. Répartition des terres arables par département selon différentes cartes de végétation). La surface totale de terres cultivées varie entre 1.3 and 5.4 millions d'hectares entre les quatre cartes de végétation étudiées. La répartition géographique est également très différente d'une carte à l'autre. GLC identifie les terres agricoles principalement dans les zones de la Cuvette et Cuvette Ouest tandis que MODIS et UCL identifient de larges zones de terres agricoles dans le Pool et les Plateaux. Sur la base des discussions avec les experts nationaux il semble que cela soit largement surestimé par rapport à la réalité et Globcover a été retenu comme étant le plus représentatif de la réalité.

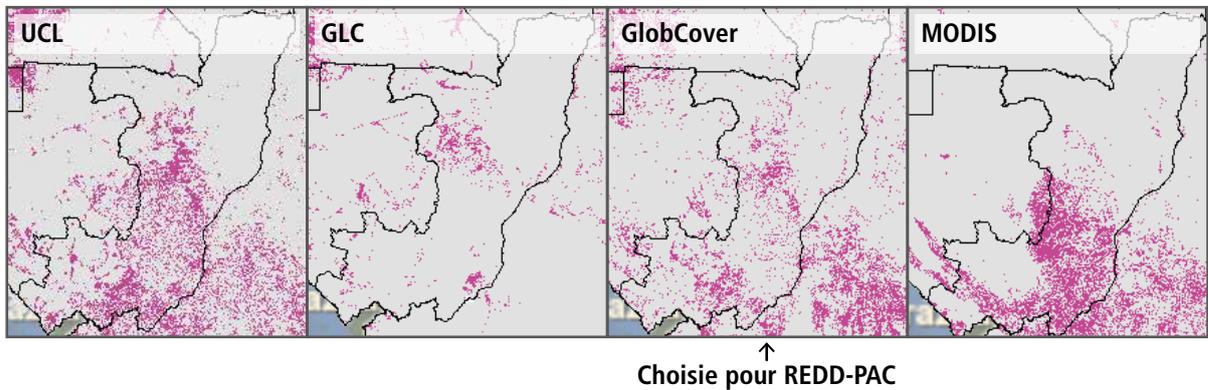


Figure 11. Localisation des terres arables en République du Congo selon différentes sources

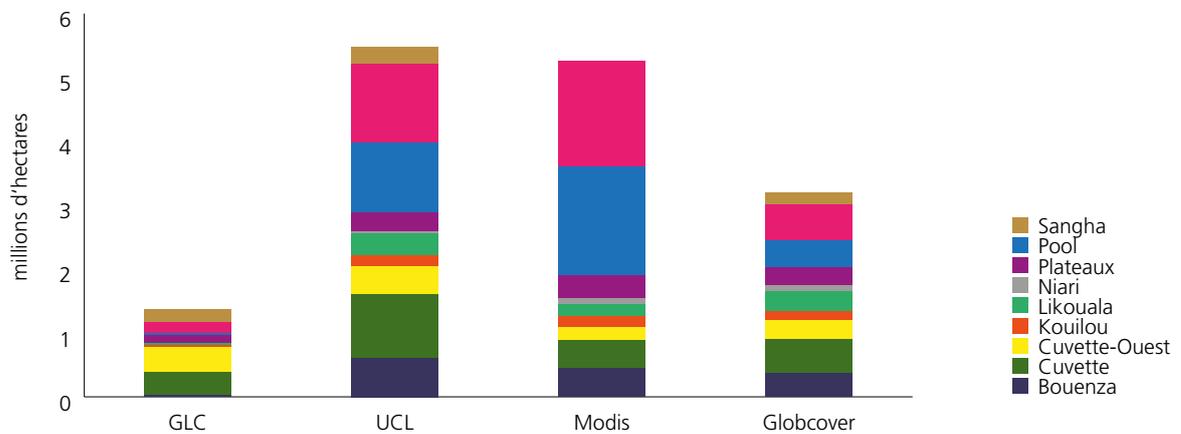


Figure 12. Répartition des terres arables par département selon différentes cartes de végétation

Pour les terres forestières, les incertitudes sont moins grandes mais la surface totale de forêt varie tout de même entre 21.5 et 26.9 millions d’hectares selon les cartes (Figure 13. Répartition par type de forêt selon différentes sources). La carte GlobCover a également été utilisée pour les surfaces en forêt dans la carte hybride à part pour la classe de forêts inondées qui semblait un peu surestimée dans GlobCover d’après les observations des experts nationaux du projet, et qui a été remplacée par celle de la carte de l’UCL. Il y a un bon accord entre les sources sur la surface de forêt dans les principaux départements forestiers de la République du Congo, la Sangha et la Likouala mais l’incertitude augmente dans les autres départements (Figure 14. Répartition des surfaces forestières par province selon différentes cartes de végétation). Cependant, on observe un bon accord entre la carte Globcover qui a été utilisée dans notre carte hybride et les cartes FACET et GAF.

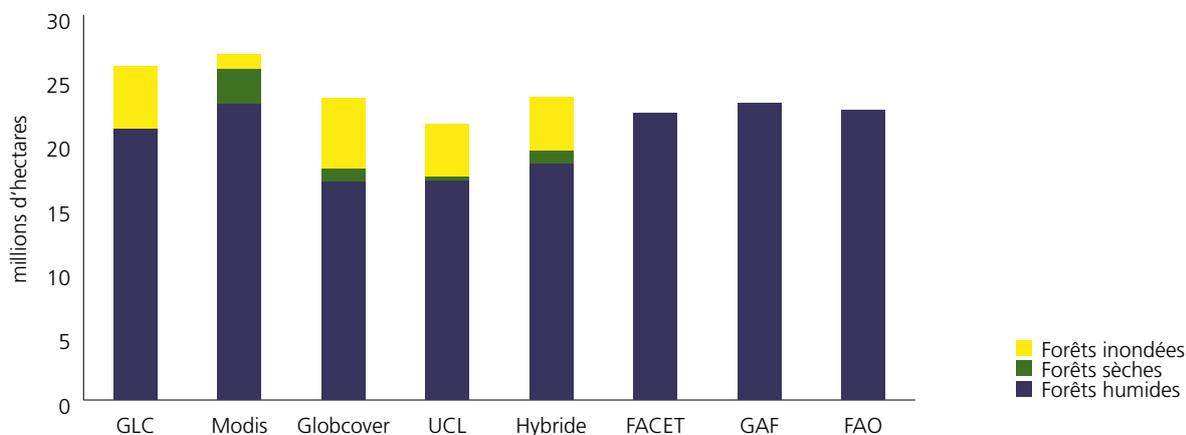


Figure 13. Répartition par type de forêt selon différentes sources

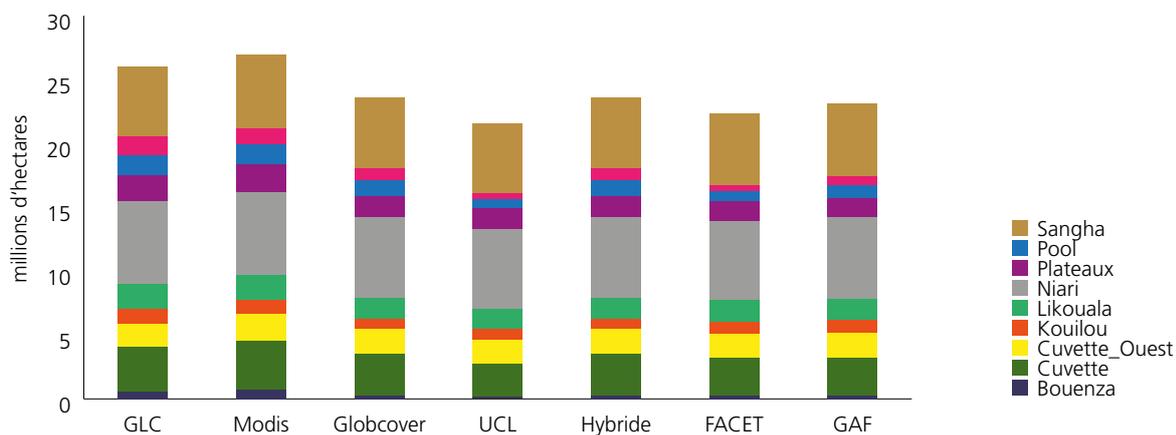


Figure 14. Répartition des surfaces forestières par province selon différentes cartes de végétation

4.4 Harmonisation de la carte de végétation avec les différents usages

Dans un deuxième temps, les cartes d'aires protégées et de concessions forestières, et les statistiques agricoles ont été utilisées pour décomposer ces types de couverture végétale entre différents usages. Les terres cultivées sont réparties entre chaque culture, les prairies sont différenciées selon qu'elles sont utilisées pour l'élevage (pâturages) ou non (autres terres naturelles), et les forêts exploitées sont séparées des forêts non exploitées.

4.4.1 Les concessions forestières et les aires protégées

La carte des concessions forestières et des aires protégées qui a été intégrée dans le modèle pour l'année de base 2000 provient de l'Atlas Forestier Interactif du Congo de WRI qui contient les données pour 2006. La surface sous concessions forestières attribuées était de 11.8 millions d'hectares, la surface sous concessions forestières non attribuées était de 3 millions d'hectares et les aires protégées couvraient environ 3.5 millions d'hectares (Figure 15. Les concessions forestières et les aires protégées répertoriées en 2006 au Congo par WRI

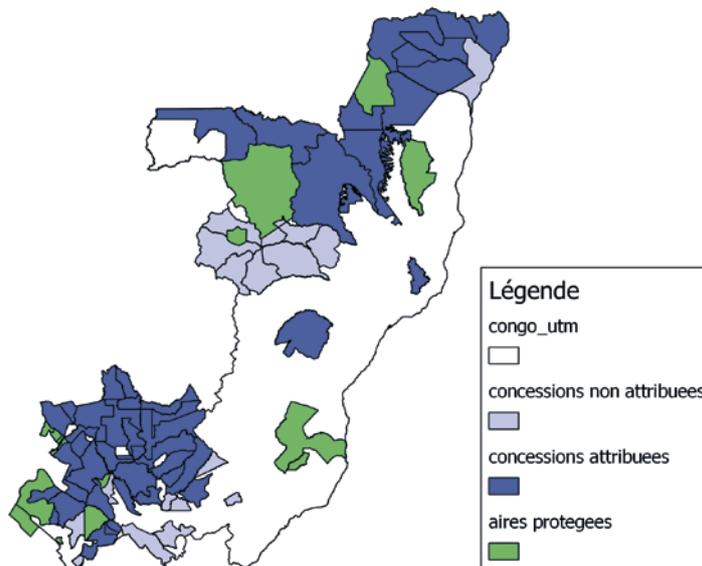


Figure 15. Les concessions forestières et les aires protégées répertoriées en 2006 au Congo par WRI

Nous observons parfois un chevauchement des concessions forestières et des aires protégées dans le bassin du Congo. 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 déduite de la surface initiale de l'aire protégée (Figure 16. Procédure d'ajustement des aires protégées s'il y a chevauchement des usages). Cela explique pourquoi la surface d'aires protégées dans le modèle peut être inférieure à la surface officielle (Tableau 1). Pour la République du Congo, cela réduit la surface totale d'aires protégées de 3 %. Les aires protégées sont ensuite réparties par classe de végétation : dans le modèle, 84 % de la superficie des aires protégées sont comprises dans la classe forêts dont 70 % dans la classe de végétation « forêts humides ».

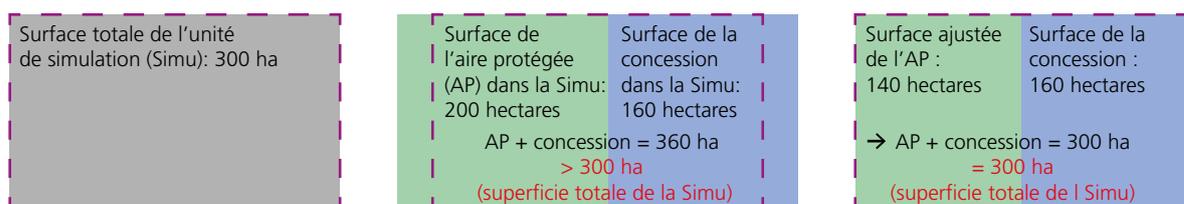


Figure 16. Procédure d'ajustement des aires protégées s'il y a chevauchement des usages

Nous rappelons ici que les forêts exploitées dans le modèle correspondent à des forêts 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 (Tableau 1). Les concessions forestières non attribuées sont intégrées dans la classe « forêts non exploitées ».

Tableau 1. Comparaison de la superficie totale initiale et intégrée dans le modèle pour les forêts exploitées et les aires protégées en République du Congo (en millions d'hectares)

	Données initiales	Total dans le modèle	Dont forêts humides	Dont forêts inondées	Dont forêts sèches	Dont autres terres naturelles
Aires protégées	3.5	3.3	2.3	0.3	0.2	0.5
Forêts exploitées	11.8	10.2	10.2	0.0	0.0	0.0

Au total ce sont donc 13 millions d'hectares de forêts qui ne peuvent pas être converties à d'autres usages en 2010 grâce aux concessions forestières et aux aires protégées, ce qui représente plus de la moitié de la surface totale de forêts du Congo.

Depuis 2006, d'autres concessions forestières ont été attribuées au Congo et ont été rajoutées à la classe « forêts exploitées » pour les périodes après 2010. Cela représente une surface additionnelle de forêt de près de 2,5 millions d'hectares qui ne peuvent pas être convertis à d'autres usages dans le scénario de base (Figure 15. Les concessions forestières et les aires protégées répertoriées en 2006 au Congo par WRI).

4.4.2 Les surfaces cultivées

Pour la République du Congo, les statistiques agricoles sont malheureusement très limitées et peu fiables. Nous avons tout d'abord étudié les données fournies par l'étude réalisée par SOFRECO-CERAPE en 2011. Une première difficulté a été de convertir les produits transformés en produits primaires équivalents (Tableau 2). Cependant, alors que pour le manioc qui est le premier produit de consommation du pays, la production est renseignée pour seulement 5 départements avec une répartition sans aucun lien avec la distribution de la population il nous a semblé difficile d'utiliser ces données pour renseigner le modèle (Figure 17). Nous avons ensuite utilisé les informations issues d'un rapport d'OTF (2009) pour la Banque Mondiale sur le manioc en République du Congo où nous avons trouvé des estimations plus raisonnables sur la répartition de la production de manioc et sur l'approvisionnement en manioc des deux principales villes Pointe-Noire et Brazzaville. Ces chiffres reposent sur des estimations de production de 1997 et des enquêtes dans les centres urbains.

Tableau 2. Coefficient de conversion des produits du manioc en racines fraîches

Produit	Cossettes de manioc	Roui de manioc	Chikwangue
Coefficient de conversion en racines fraîches	2.56	2.02	1.79

Source : Ngonde Nsakala, (s. d.)

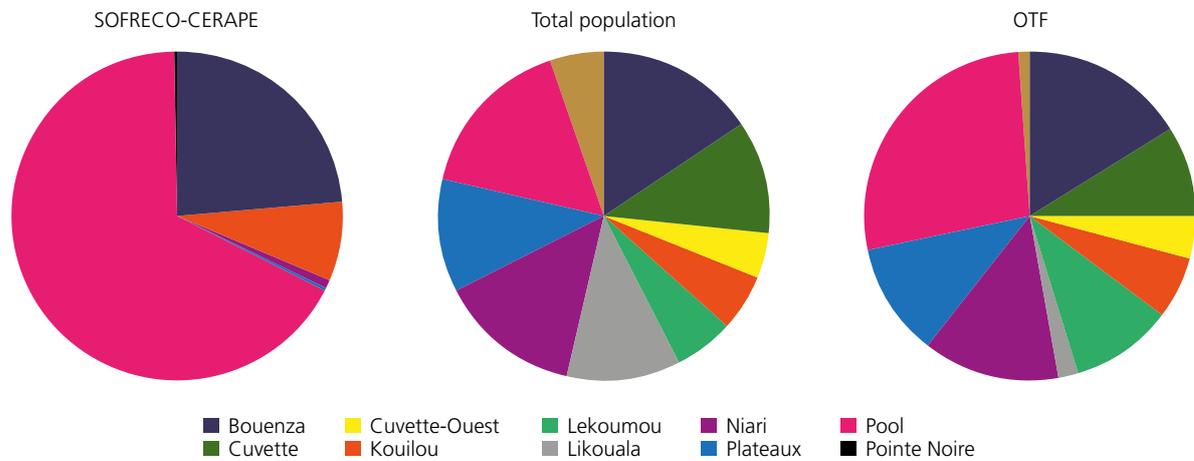


Figure 17. Comparaison entre la répartition de la production de manioc reportée par l'étude SOFRECO-CERAPE (gauche), la répartition de la population par province (centre) et la répartition de la production de manioc reportée par l'étude OTF (droite)

Nous avons également essayé de reconstruire les données de production sur la base de la consommation. D'après la FAO et le Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage (MAE), la consommation moyenne par habitant et par an en zone rurale est de 425 kg tandis que la consommation moyenne en milieu urbain est de 175kg par an (OTF 2009)⁹. Par simplicité, nous considérons Brazzaville et Pointe-Noire comme zones urbaines tandis que les autres départements sont entièrement ruraux. Nous obtenons ainsi la consommation totale de manioc par an et par département. La production est calculée comme la consommation totale des zones rurale plus la part de la consommation urbaine qui provient de chaque département en utilisant les données d'OTF.

⁹ Pour les provinces de Likouala et de Sangha, la consommation moyenne par habitant par an a été ajustée à 212 kg pour mieux correspondre aux statistiques de répartition de la production d'OTF.

Par exemple pour le Pool, en 2000 la population était estimée à 219 511 et la consommation moyenne par habitant à 425 kg ce qui nous donne une consommation locale totale de 93 292 tonnes par an. La population de Brazzaville était estimée à 1 256 839 en 2000. Si la consommation moyenne par habitant était de 175 kg par an, alors la consommation totale de manioc de Brazzaville était de 219 946 tonnes. De même pour Pointe-Noire, avec une population de 581 632, la consommation totale de manioc est estimée à 101 785 tonnes. Au total, la production de manioc dans le Pool en 2000 est estimée à 93 292 plus 57 % de la consommation de Brazzaville et 9 % de la consommation de Pointe-Noire ce qui nous donne 227 823 tonnes (Tableau 3). La production totale que l'on obtient ainsi est de 840 milliers de tonnes en 2000, ce qui est très proche de la production reportée par la FAO (816 milliers de tonnes).

Cette méthode, même si elle repose sur plusieurs hypothèses, a l'avantage de faire également des projections de la production locale dans l'avenir sur la base de l'évolution de la population par département. Pour les autres cultures du modèle (patate douce, arachide, maïs, riz, haricot) nous utilisons la même répartition de la production que calculée pour le manioc. Pour la canne à sucre, nous utilisons les données fournies par SARIS Congo sur leur plantation dans la Bouenza (12 000ha).

Dans le modèle, nous avons besoin des surfaces initiales par culture. En l'absence d'autres informations, nous avons utilisé le rendement moyen par culture au niveau du Congo reporté par la FAO pour convertir les données de production en surface par département. On obtient ainsi une surface totale de terres cultivées de 154 milliers d'hectares.

Tableau 3. Estimation de la consommation et de la production de manioc en 2000 par département

	Conso. Locale (1000T/an)	Provenance de la conso. à Brazzaville	Prod. pour Brazza- ville (1000T/an)	Provenance de la conso. à Pointe- Noire	Prod. pour Pointe Noire (1000T/an)	Prod. totale (1000T)
TOTAL	853.3		206.8		101.8	840.1
Bouenza	90.4	6 %	13.2	30 %	30.5	134.2
Cuvette	64.5	6 %	13.2	0 %	0.0	77.7
Cuvette Ouest	26.3	4 %	8.8	0 %	0.0	35.1
Kouilou	31.8	0 %	0.0	18 %	18.3	50.1
Lekoumou	33.3	0 %	0.0	17 %	17.3	50.6
Likouala	32.7	0 %	0.0	0 %	0.0	32.7
Niari	79.9	2 %	4.4	26 %	26.5	110.8
Plateaux	64.5	19 %	41.8	0 %	0.0	106.3
Pool	93.3	57 %	125.4	9 %	9.2	227.8
Sangha	14.8	0 %	0.0	0 %	0.0	14.8
Brazzaville	219.9	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.
Pointe-Noire	101.8	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.

Source: auteurs

4.4.3 Les jachères agricoles

Pour obtenir les surfaces agricoles totales, il faut également ajouter les jachères. Nous faisons l'hypothèse que le temps de jachère diminue avec la densité de population. On considère trois seuils¹⁰ :

- 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).

Le temps de jachère varie également en fonction des zones agro-écologiques. 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 la zone des plateaux Batéké et de la pointe Sud, le temps de jachère était réduit à deux ans (coefficient multiplicateur des terres cultivées est égal à 2). La figure 18 montre l'hétérogénéité du coefficient multiplicateur des terres cultivées pour obtenir la surface agricole totale compte tenu des différentes pratiques de jachère à travers le pays.

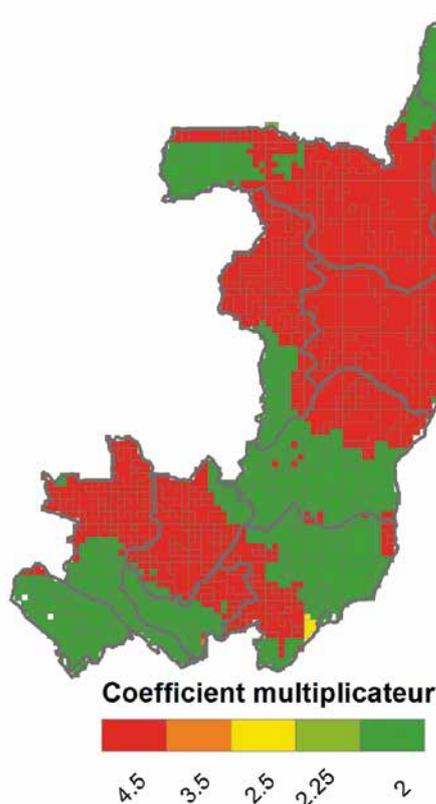


Figure 18 Coefficient multiplicateur des terres cultivées pour prendre en compte les différents temps de jachère

¹⁰ On remarque que pour la République du Congo à part dans la zone autour de Brazzaville, la densité de population est toujours inférieure à 20 habitants par km².

4.4.4 Le palmier à huile

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. L'indicateur global est ensuite obtenu selon la loi du minimum c'est-à-dire qu'il prend la valeur du facteur le plus contraignant¹¹. 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 les 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: 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 les coûts 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.

Nos résultats montrent que la République du Congo dispose d'un total de 28.55 millions hectares de terres propices pour la culture industrielle du palmier à huile, soit 83 % de la superficie nationale (Figure 19. Carte de potentiel biophysique du palmier à huile en République du Congo (de vert clair = faible potentiel à vert foncé = fort potentiel et gris foncé = non propice)). La plupart des terres adaptées à la culture du palmier à huile sont dans la classe 3/5 soit un niveau de productivité potentiel moyen. Les conditions biophysiques ne sont pas réunies au Congo pour avoir un très haut potentiel pour la culture du palmier à huile. Un tiers des terres adaptées est occupé par les terres qui ont seulement un potentiel de production marginal c'est-à-dire où le palmier à huile peut pousser mais où la productivité risque d'être faible.

D'un point de vue climat-topographie-sol le nord du pays est le plus favorable à la culture du palmier à huile, à l'exception des zones inondées dans le nord-est, ainsi que le Niari et le département du Lekoumou. Les régions du centre (Plateaux et Pool) ont un faible potentiel de production et une partie du Kouilou n'est pas du tout favorable à cause de la présence forte de sable dans le sol de ce département.

11 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.

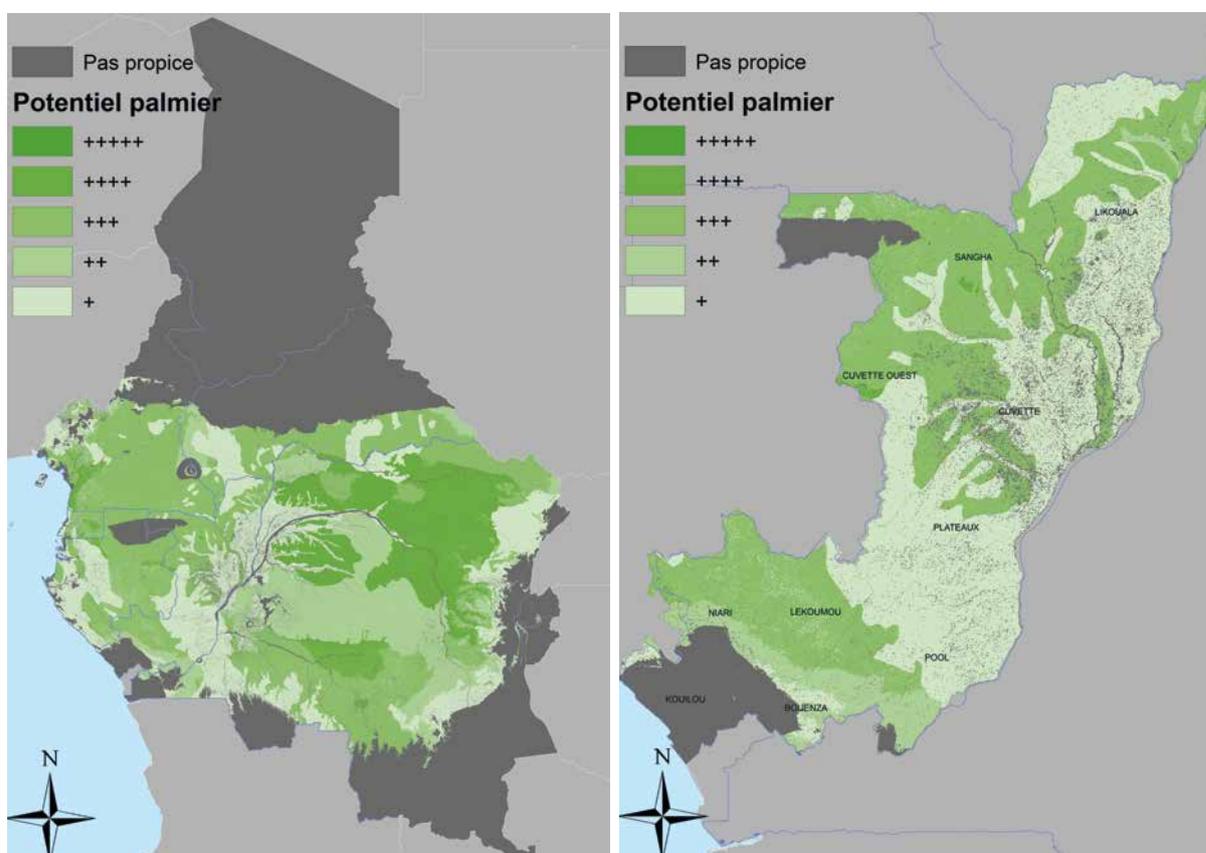


Figure 19. Carte de potentiel biophysique du palmier à huile en République du Congo (de vert clair = faible potentiel à vert foncé = fort potentiel et gris foncé = non propice)

De plus, sur base d'une revue de la littérature nous avons estimé les surfaces du palmier en 2000 (Tableau 4 : Surfaces de plantations de palmier en 2000 par département et par type de production.). Le secteur était dominé par la plantation « Sangha Palm » dans la Sangha. Contrairement au Cameroun où les petits producteurs jouent un rôle important dans le secteur, les petits producteurs de l'huile de palme ne sont que peu présents en République du Congo.

Tableau 4 : Surfaces de plantations de palmier en 2000 par département et par type de production.

Département	Petits producteurs	Plantations industrielles
Kouilou	5	
Niari	30	
Lekoumene	15	
Bouenza	30	
Pool		200
Plateaux	20	
Cuvette		1 000
Cuvette-Ouest	124	
Sangha		5 000
Likouala		342
Total	225	6 542

Source: Carrere, 2013; FAO, 2014; Lescuyer & Ngouhou, 2014

4.4.5 Processus d'allocation spatiale des surfaces agricoles pour l'année de base (2000) au niveau des unités de simulation

Les surfaces cultivées et en jachère sont finalement attribuées au niveau des unités de simulation en utilisant une méthode de « cross-entropy » où les cartes de coûts de transport vers la ville la plus proche, de potentiels de productivité et de densité de population sont utilisées pour déterminer la localisation la plus probable des activités. Les coûts de transport ont été calculés sur la base des infrastructures existantes (Mosnier *et al.*, 2012) et les potentiels de productivité ont été estimés par le modèle EPIC, sauf pour le palmier à huile. Deux contraintes additionnelles sont importantes : 1) la somme des activités par culture plus les jachères doit être inférieure ou égale à la surface totale en terres agricoles de la carte de végétation initiale dans chaque unité de simulation et 2) la somme des surfaces cultivées dans les unités de simulation doit être égale à la surface initiale par administration.

On arrive à une surface en terres arables totale de 500 milliers d'hectares en 2000 pour la République du Congo, dont les deux-tiers sont composées des jachères¹². La différence entre la classe « terres agricoles » de la carte de végétation initiale et les terres arables ainsi calculées est de 2 494 000 hectares qui sont réaffectés à la classe « autres terres naturelles ». La répartition géographique des terres arables calculée reste cependant très proche de la carte initiale, mais avec des superficies plus faibles par unité de simulation (Figure 20. Surfaces en terres arables en 2000 par unité de simulation (en milliers d'hectares)). On voit notamment sur la carte que dans la majorité des unités de simulation, la surface cultivée ne représente qu'entre 1 000 et 5 000 hectares soit moins de 2 % de la surface totale des unités de simulation.

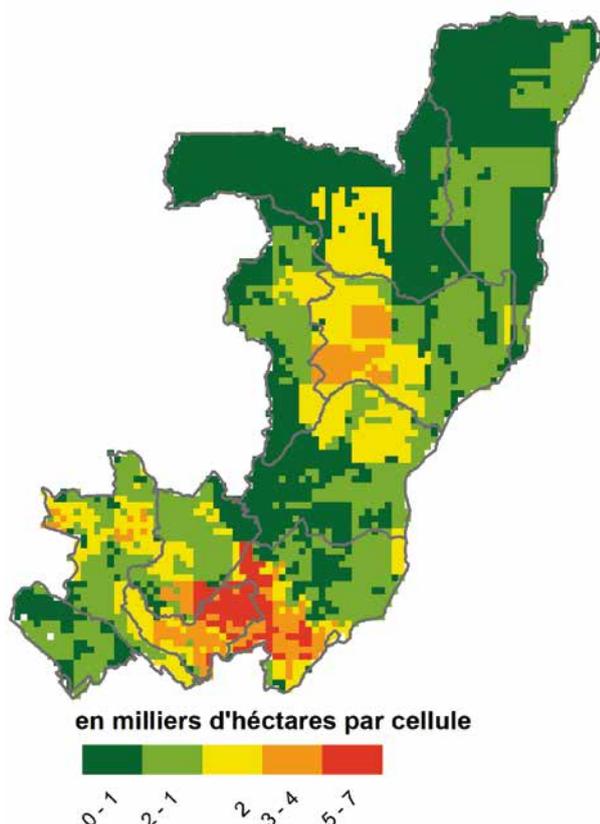


Figure 20. Surfaces en terres arables en 2000 par unité de simulation (en milliers d'hectares)

¹² A titre de comparaison, la FAO reporte 540 000 hectares de terres arables.

4.4.6 Elevage

L'annuaire statistique du DGE/MAE de 2011 et le Rapport des Directions Départementales d'Élevage de 2010 ont été utilisés pour obtenir des statistiques sur l'élevage au Congo. La première source fournit des données agrégées pour l'ensemble du pays entre 2005 et 2010 (en orange dans la Figure 21. Comparaison des effectifs par espèce selon les sources) tandis que la deuxième source fournit des données d'effectifs par département mais seulement pour une année. Ces deux sources sont proches au niveau agrégé à part pour les bovins où le Rapport des Directions Départementales d'Élevage enregistre un nombre de têtes de bétail 35 % plus élevé que l'annuaire statistique du DGE/MAE pour l'année 2009 et pour les porcins où il y a également une forte différence. Par contre, la différence avec les chiffres de la FAO est très grande : la FAO reporte un cheptel 7 fois, 6 fois et 3 fois supérieur pour les bovins, les caprins et les ovins respectivement.

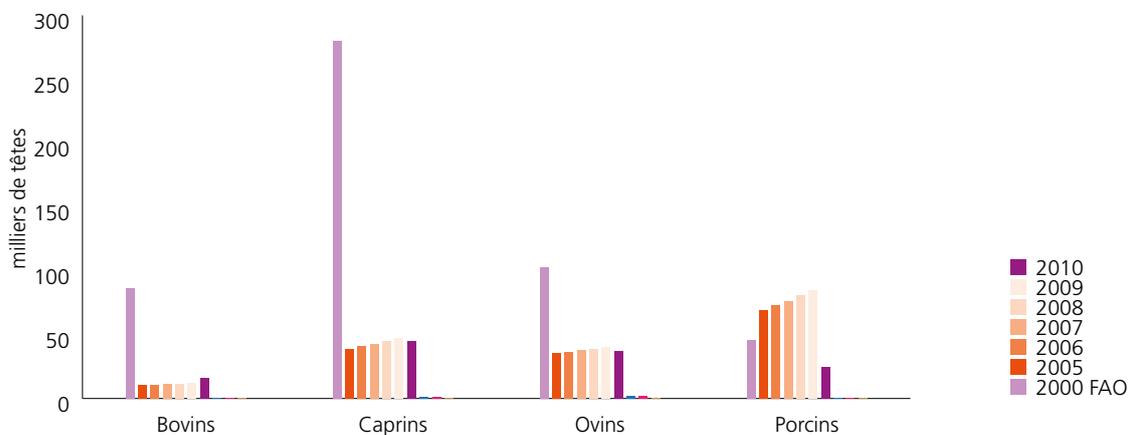


Figure 21. Comparaison des effectifs par espèce selon les sources

En termes de répartition du cheptel des bovins, il y a un assez bon accord entre les statistiques du DGE/MAE et la FAO-ILRI pour la Bouenza et la Cuvette qui représentent plus de 40 % des effectifs nationaux (Figure 22. Comparaison de la répartition des effectifs de bovins et caprins entre départements). A contrario, une des principales différences entre les chiffres rapportés dans les statistiques du DGE/MAE et les données FAO-ILRI concerne le département du Niari : il est peu important pour l'élevage des bovins, ovins et caprins d'après la FAO-ILRI tandis qu'il regroupe 20 % des bovins et 35 % des ovins-caprins selon les statistiques du DGE/MAE. Pour les ovins et les caprins, on observe plus généralement de gros écarts entre la répartition du cheptel selon les statistiques du DGE/MAE et la FAO. Comme les statistiques nationales et les données FAO-ILRI ont dix ans d'écart, il se peut que les différences observées reflètent l'évolution du cheptel entre 2000 et 2010 mais aussi elles peuvent également refléter les grandes incertitudes sur le secteur.

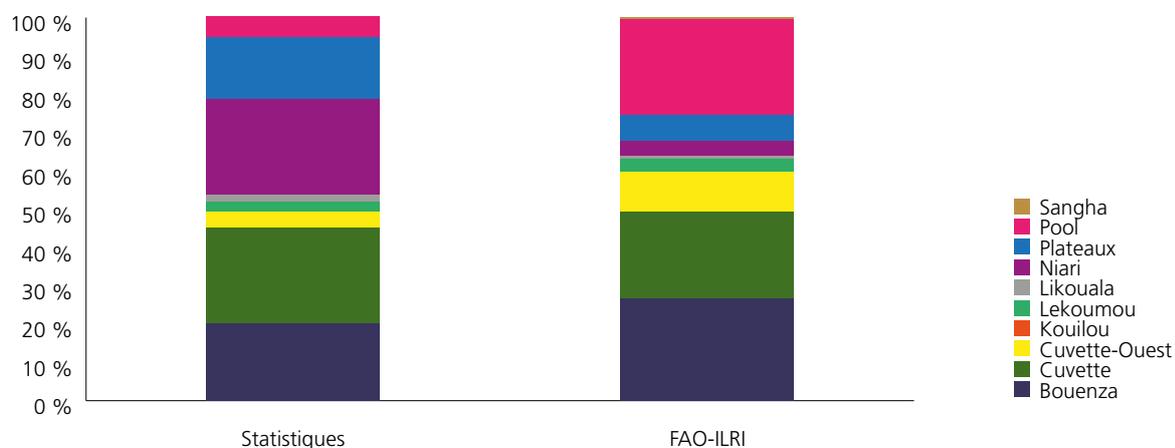


Figure 22. Comparaison de la répartition des effectifs de bovins et caprins entre départements

Etant données les incertitudes sur les données disponibles sur l'élevage évoquées précédemment, nous avons décidé de garder les données par défaut du modèle pour le secteur de l'élevage (FAO-ILRI)¹³. Dans le modèle, les ruminants sont représentés au niveau des unités de simulation ou ils déterminent les surfaces de pâturages en fonction du niveau consommation de fourrages tel qu'estimé avec le modèle RUMINANT. Cela conduit à une surface estimée de pâturages pour l'année de base de 620 milliers d'hectares au Congo (Figure 23 Surfaces en pâturages en 2000 par unité de simulation (en milliers d'hectares)). Les porcs et la volaille sont représentés de manière agrégés dans GLOBIOM (seulement au niveau national). Cependant à travers l'utilisation de certaines cultures pour leur alimentation, ils peuvent conduire indirectement à une expansion des terres agricoles.

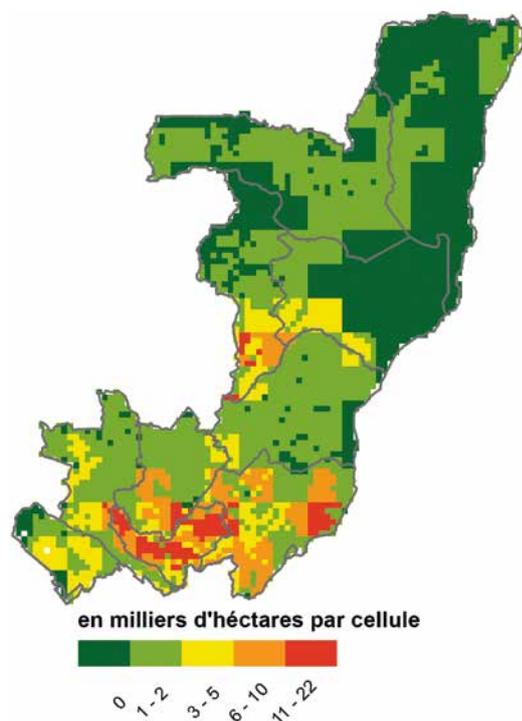


Figure 23 Surfaces en pâturages en 2000 par unité de simulation (en milliers d'hectares)

¹³ Les données d'élevage du sont exprimées en unité de bétail tropical (ou TLU comme *Tropical Livestock Unit* en anglais). Une TLU correspond à une vache d'un poids de 250kg. La FAO estime que pour le Congo, une vache correspond à 0.5 TLU, une chèvre a 0.1 TLU, un cochon a 0.2 TLU et une poule a 0.01 TLU.

5 Le calcul des émissions de gaz à effet de serre et des impacts sur la biodiversité

5.1 Le calcul des émissions

5.1.1 Les émissions 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 est basé sur le contenu en carbone de chaque type de végétation. Les estimations en carbone dans la biomasse vivante aérienne et souterraine de (Kindermann *et al.* 2008) information on forest biomass is available from a mixture of sources, including in-situ measurements, national forest inventories, administrative-level statistics, model outputs and regional satellite products. These data tend to be regional or national, based on different methodologies and not easily accessible. One of the few maps available is the Global Forest Resources Assessment (FRA 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 aérienne et souterraine 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 aérienne 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 d'une combinaison d'images satellites type MODIS et un système de télédétection par laser (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 Congo (Figure 24. Contenu carbone de la carte de la NASA moins le contenu carbone de la carte de biomasse de WHRC pour la République du Congo (en Mg/ha) Source: CNIAC avec le soutien de PNUE-WCMC)¹⁴. Les auteurs soulignent le fait que le contenu en 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. La carte ci-dessous (Figure 24. Contenu carbone de la carte de la NASA moins le contenu carbone de la carte de biomasse de WHRC pour la République du Congo (en Mg/ha) Source: CNIAC avec le soutien de PNUE-WCMC) montre les différences d'estimation de biomasse entre les deux cartes pour la République du Congo : les valeurs positives (en tonnes de biomasse par hectare) indiquent un contenu plus élevé de carbone dans la carte de Saatchi *et al.* que dans la carte de Baccini *et al.* et vice versa pour les valeurs négatives.

Les cartes du WHRC et de la NASA ne prennent en compte que la biomasse aérienne. Nous estimons la biomasse vivante en-dessous du sol en fonction de la biomasse vivante souterraine en prenant en compte

¹⁴ See also <http://biomass.geo-wiki.org>

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 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.

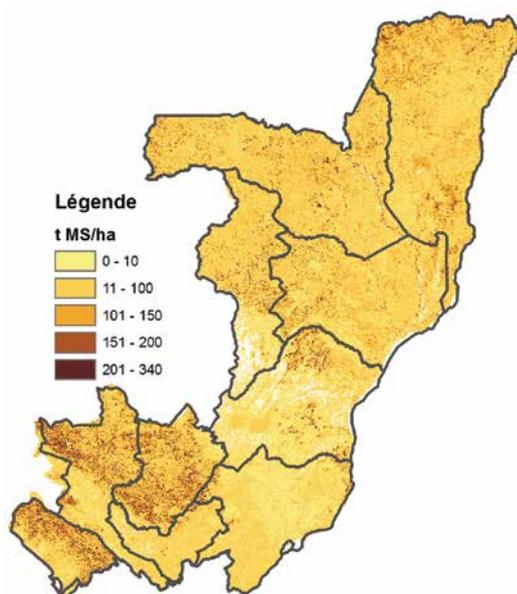


Figure 24. Contenu carbone de la carte de la NASA moins le contenu carbone de la carte de biomasse de WHRC pour la République du Congo (en Mg/ha) Source: CNIAC avec le soutien de PNUF-WCMC

5.1.2 Les émissions liées à la dégradation de la forêt

Nous distinguons trois types d'activités entraînant une dégradation de la forêt dans GLOBIOM-ROC : l'exploitation forestière formelle, la collecte informelle de bois d'œuvre et la collecte informelle de bois de chauffe. Pour l'exploitation formelle, elle est uniquement possible dans les concessions forestières préalablement identifiées.

En ce qui concerne l'impact direct de l'exploitation forestière industrielle, plusieurs études peuvent nous renseigner. 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 infrastructures¹⁵. 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 (Boundzanga & Bouta, 2003).

¹⁵ L'hypothèse centrale de ces calculs est que les émissions ont toutes lieu au moment de l'exploitation bien qu'en réalité, le bois prélevé peut servir à produire des biens qui garderont le carbone pour plusieurs décennies.

Durrieu de Madron *et al.* (2011) ont calculé l'impact de différentes pratiques d'exploitation forestière sur les stocks de 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 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 5 : Facteurs d'émission total et par type d'impact pour différents types d'exploitation forestière

Type d'exploitation	tC par m ³ de bois prélevé	tC pour les dégâts engendrés sur le peuplement	tC pour les dégâts engendrés par les infrastructures	TOTAL en tC par m ³ de bois extrait
Exploitation formelle sous aménagement	0.25	0.5	0.24	0.99
Exploitation formelle conventionnelle	0.25	0.50 x 1.1 = 0.55	0.24 x 1.1 = 0.26	1.06

5.1.3 Les émissions 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 (Herrero *et al.*, 2013; van Wijk *et al.*, 2014). 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.

5.2 Le 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 leurs impacts potentiels sur la biodiversité, les services écosystémiques, et l'accomplissement 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 provoque une destruction de la biodiversité qu'ils contiennent et des services écosystémiques qu'ils fournissent, et conduit à une perte ou une fragmentation des habitats des espèces. Ces impacts dépendent de la localisation, de la surface totale, 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 la diminution des habitats naturels (Objectif d'Aichi 5). La superposition 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 et 14 (éviter l'extinction d'espèces menacées et 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.

5.2.1 Impact sur les écosystèmes

Le territoire de la République du Congo est divisé en un certain nombre d'écorégions avec des caractéristiques écologiques uniques. En utilisant cette information, les impacts des changements d'usages des sols sur les écorégions peuvent être évalués 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 25).

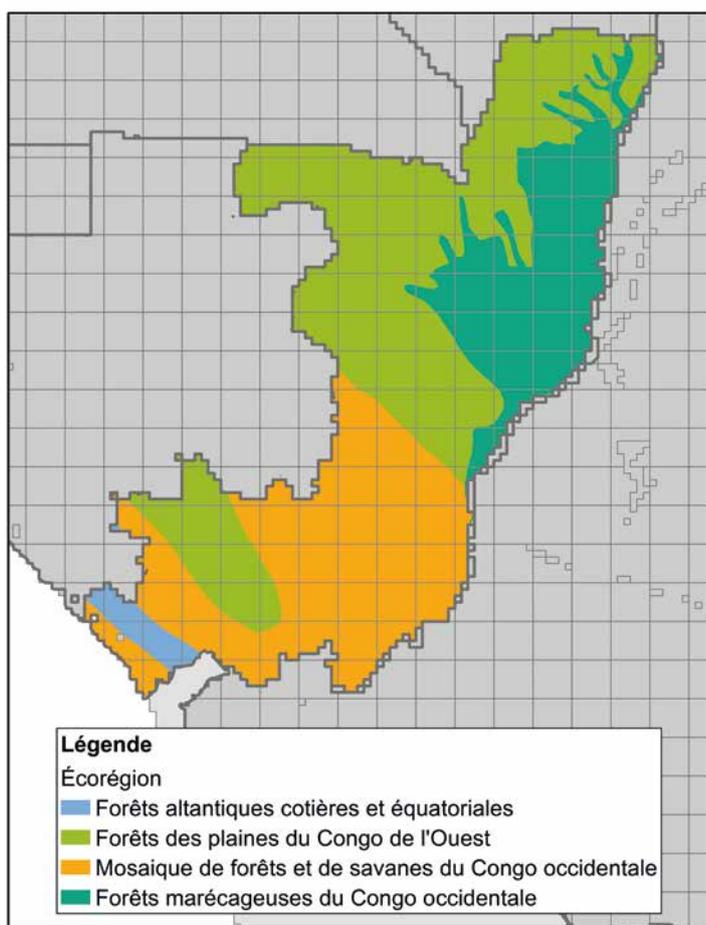


Figure 25: Carte des écorégions de la République du Congo

5.2.2 Impact sur les espèces

La perte de végétation naturelle (y compris les forêts et les autres types de végétation naturelle) 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. Par exemple, la République du Congo abrite des espèces menacées de grands singes, qui ont le potentiel de soutenir le développement des activités d'écotourisme, un service écosystémique clé. La République du Congo est également signataire de la Déclaration de Kinshasa sur la protection des Grands Singes.

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 sur la localisation précise d'une espèce ou sur les besoins en 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 nationale. 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'Union internationale pour la conservation de la nature (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. 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 pourcen-

tage 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 26 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.

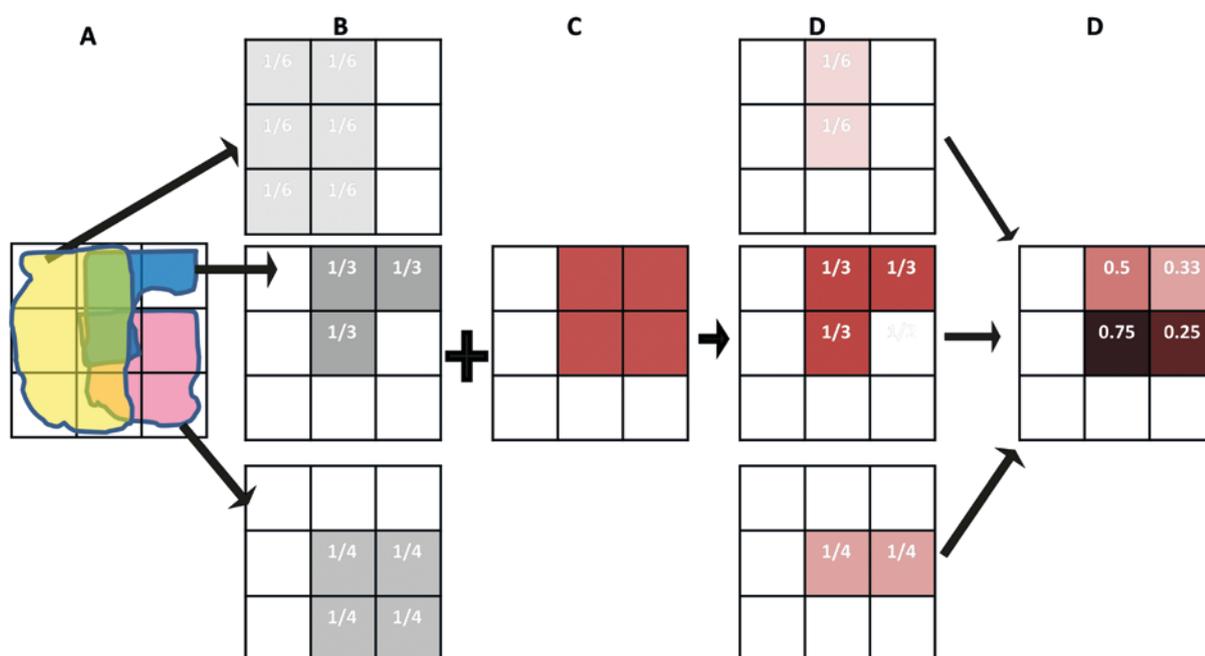


Figure 26 Méthode de calcul pour l'indice composite de changement combiné de l'habitat pour les espèces

6 Description des scénarios

L'horizon temporel qui a été retenu pour cette étude est 2030. Afin d'explorer l'évolution de la déforestation dans le futur, nous présentons tout d'abord les projections de population et du PIB qui sont utilisées afin de déterminer la demande pour les différents produits qui sont représentés dans le modèle. Ensuite nous présentons les hypothèses spécifiques à l'évolution de l'utilisation de bioénergies et plus particulièrement du bois énergie. Ce scénario de base peut être vu comme ce qui se passerait en l'absence de nouvelles politiques du gouvernement avec une croissance modérée de la population et de la richesse mondiale.

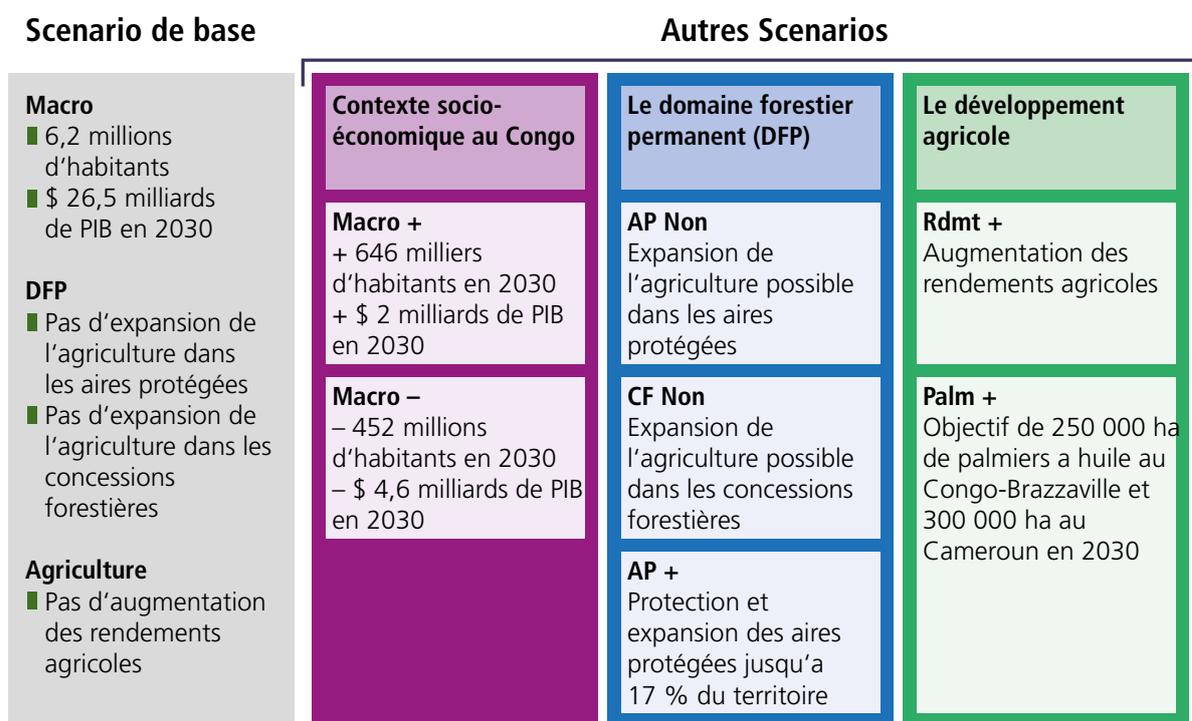


Figure 27 Les hypothèses du scénario de base sont présentées à gauche tandis que les changements introduits dans chaque scénario sont décrits à droite (un scénario par boîte blanche)

6.1 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 28). Pour chaque scénario, des projections de population et de PIB sont effectuées pour chaque pays, résultant en différents niveaux de PIB moyen par tête.

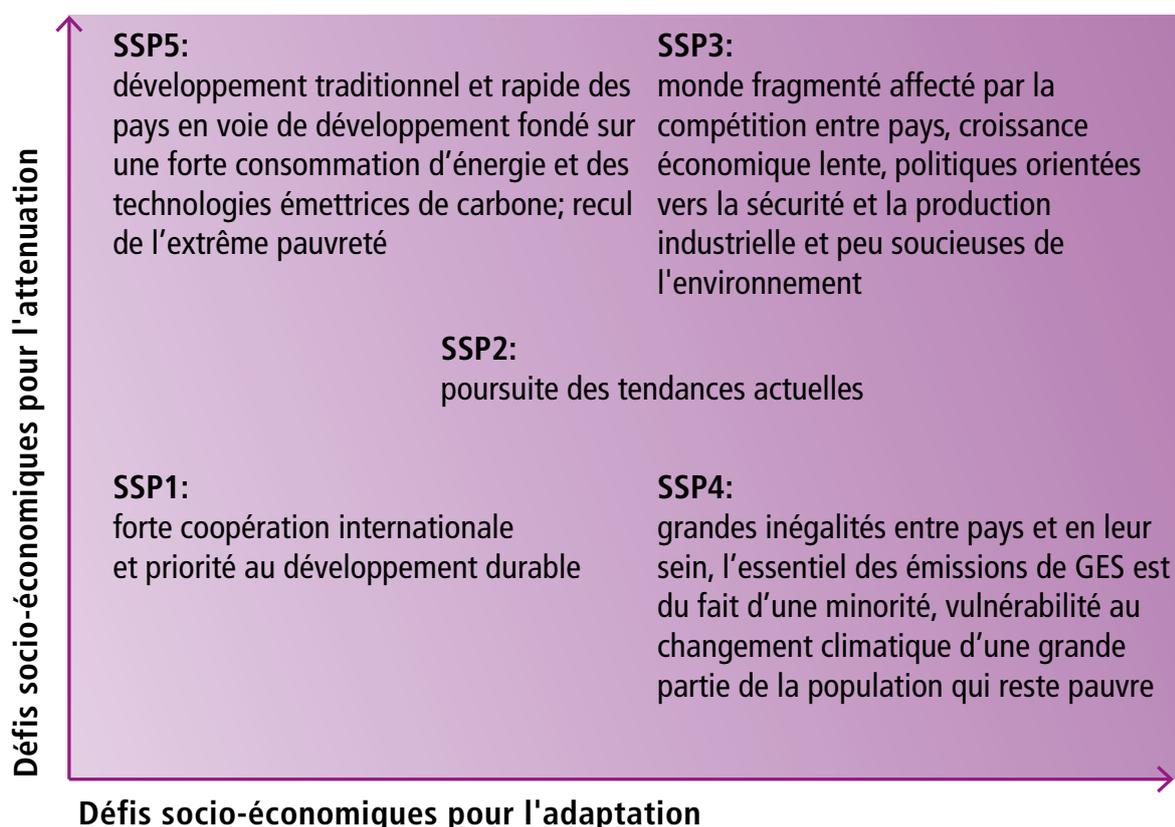


Figure 28 Trajectoires de développement socio-économiques élaborées dans le cadre du GIEC (O'Neill *et al.*, 2013)

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 des populations 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. Nous remarquons cependant que les changements socio-économiques anticipés pour le Congo dans le SSP2 sont généralement beaucoup plus forts que la moyenne mondiale : la population du Congo devrait doubler en 2030 comparé au niveau de 2000 et le PIB devrait presque tripler par rapport au niveau de 2000.

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) entre les trois premiers SSPs (Figure 29). Comme les changements de population ne sont pas symétriques aux changements de croissance économique, les deux scénarios résultent en une croissance du PIB moyen par habitant plus faible que dans le SSP2. Les deux scénarios conduisent à des projections de PIB moyen par habitant en 2030 plus faibles que dans le SSP2 : de -2.5 % dans Macro+ et de -10 % dans Macro- pour la République

du Congo. Ces scénarios alternatifs vont influencer la déforestation future en modifiant la consommation alimentaire, la demande pour le bois d'œuvre et pour le bois de chauffe (cf. section 3.4.1 ; Valin *et al.*, 2014)

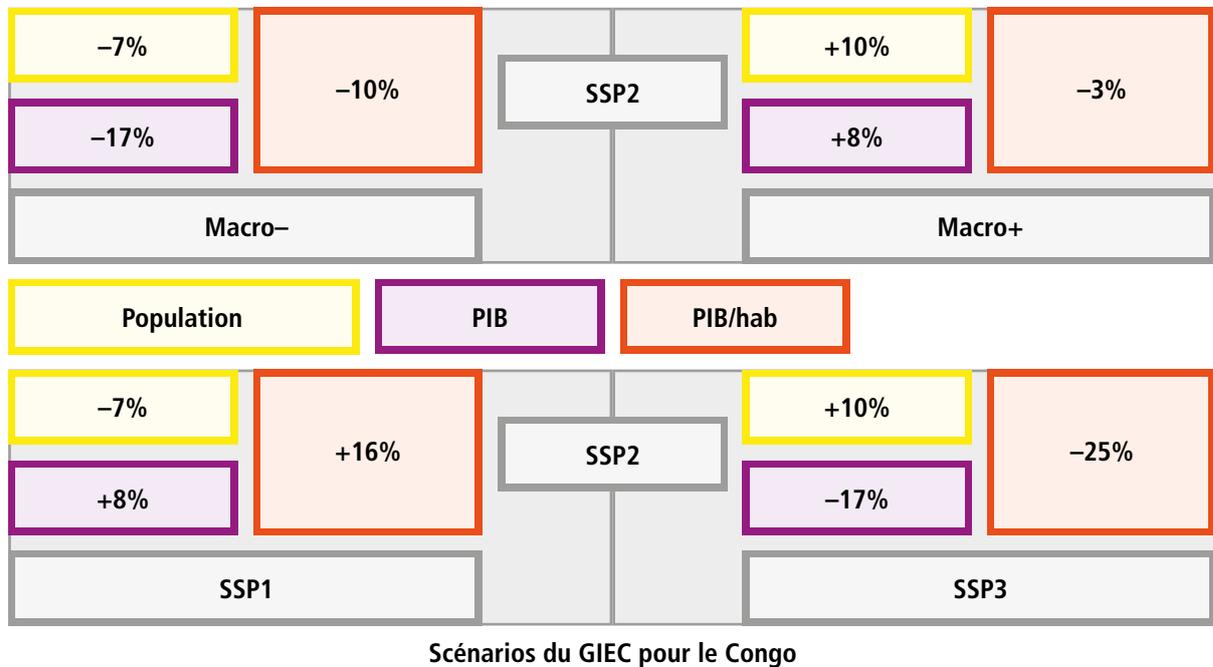


Figure 29. Hypothèses de changement de croissance du PIB, de croissance de la population et de croissance du PIB par tête dans les SSP1 et SSP3 par rapport au SSP2 (gauche) et par construction pour les scénarios Macro+ et Macro- (droite) pour la République du Congo

Le régime alimentaire dans la République du Congo repose principalement sur la consommation de tubercules et de céréales (Figure 30, gauche). Cette caractéristique est partagée avec d'autres pays d'Afrique centrale mais 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 le SSP1 où le niveau de PIB moyen par habitant est élevé (Figure 30).

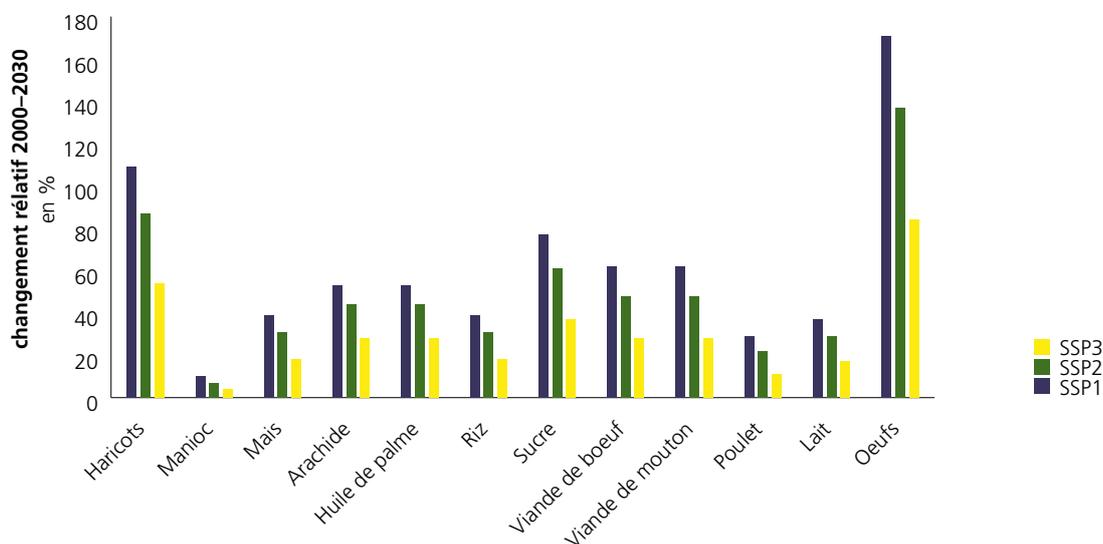


Figure 30. Changement de la consommation par produit alimentaire par habitant en 2030 par rapport à 2000 au Congo pour différents SSPs (en kcal par habitant par jour)

6.2 Le domaine forestier permanent

Par défaut dans le modèle, la conversion des forêts en d'autres usages n'est pas possible dans le domaine forestier permanent, qui comprend les aires protégées et les concessions forestières au Congo. Comme discuté dans la section 4.4.1, au total cela représente 15 millions d'hectares de forêts qui sont dans le domaine forestier permanent avec 12.7 millions d'hectares seulement couverts par les concessions forestières.

6.2.1 Scénarios alternatifs pour les aires protégées

L'effectivité de nombreuses aires protégées de la sous-région reste limitée, faute de moyens. D'après la superposition des aires protégées et des données de déforestation entre 2000 et 2012 (Hansen *et al.*, 2013), on estime que 96 km² ont été déforestés dans les aires protégées de la République du Congo entre 2000 et 2012 (Bodin *et al.*, 2014). Ce taux de déforestation dans les aires protégées était inférieur à la moyenne nationale, mais cela peut aussi résulter d'une moindre accessibilité des aires protégées (pas ou peu de routes) et d'une faible densité de population autour des aires protégées.

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.

Dans le dernier document stratégique et plan d'action pour la biodiversité (soumis en 2015 auprès de la CBD), la République du Congo mentionne comme objectif la conservation d'au moins 17 % des zones terrestres et d'eaux intérieures et 10 % des zones marines et côtières, y compris les zones qui sont particulièrement importantes pour la diversité biologique et les services fournis par les écosystèmes d'ici à

2020 (Objectif 11). Les moyens envisagés sont la mise en place de réseaux écologiquement représentatifs et bien reliés d'aires protégées gérées efficacement et équitablement et d'autres mesures de conservation effectives par zone, et intégrées dans l'ensemble du paysage terrestre et marin.

Bien que le premier objectif des aires protégées soit la conservation de la biodiversité, leur localisation pourrait aussi dépendre des autres bénéfiques écosystémiques associés dont la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Trois 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).

6.2.2 Les concessions forestières

Le code forestier datant du 20 novembre 2000 définit le cadre législatif d'une concession forestière et notamment le rôle important d'un plan d'aménagement qui précise les objectifs de la gestion de l'unité forestière d'aménagement qu'il couvre et les moyens de les atteindre (République du Congo, 2000). Les concessions font partie du domaine forestier permanent. Malgré ces dispositions, la perte du couvert forestier annuelle moyenne entre 2000 et 2012 dans les concessions forestières en République du Congo est évaluée à 111,6 km² (11 160 ha) (Bodin *et al.*, 2014). Nous remarquons deux choses : la première c'est que le taux de déforestation dans les concessions est similaire au taux de déforestation moyen pour l'ensemble de la République du Congo pour la période et la deuxième c'est que cela représente près de 10 % de la déforestation totale.

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. Cependant le risque de rétrocession de certaines concessions forestières se pose actuellement en République du Congo. De plus, ce scénario nous permet de quantifier le rôle des concessions forestières pour lutter contre la déforestation en plus de leur rôle économique.

6.3 Le développement agricole

6.3.1 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 (cf. section 6.1.1): on suppose qu'une plus grande croissance économique permet un plus grand progrès technologique qui se traduit par des rendements plus élevés (Valin *et al.*, 2010). Cependant, en l'absence de statistiques fiables sur l'évolution des rendements agricoles au Congo, le sentiment est plutôt que du fait du peu d'investissement dans l'agriculture on assiste à une stagnation des rendements agricoles au cours de la dernière décennie (FAO Statistics Division, 2015). Ainsi, dans le scénario de base, nous faisons l'hypothèse qu'il n'y a pas de progrès technique permettant une amélioration exogène des rendements au Congo 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+ » : Afin de simuler la modernisation attendue du secteur agricole nous utilisons une hypothèse alternative qui est une diffusion du progrès technique avec la diffusion de semences améliorées par exemple, ce qui a pour résultat une augmentation des rendements fixe annuelle (Tableau 6 : Taux de croissance des rendements agricoles dans le scénario RDMT+).

Tableau 6 : Taux de croissance des rendements agricoles dans le scénario RDMT+

	Taux annuel moyen	Taux sur la période 2000–2030
Haricots	1.4 %	50 %
Manioc	0.5 %	16 %
Mais	3.4 %	175 %
Arachide	2.7 %	122 %
Palmiers a huile	0.7 %	25 %
Pommes de terre	1.7 %	65 %
Riz	3.5 %	181 %
Canne a sucre	0.7 %	25 %
Patate douce	1.1 %	40 %

6.3.2 Les objectifs de plantations de palmiers à huile

Il y a une volonté politique forte en République du Congo pour inverser la tendance actuelle d'augmentation des importations d'huile de palme pour satisfaire la demande locale. Le gouvernement voudrait encourager les projets de relance des plantations de palmiers à huile abandonnées et la mise en route de nouvelles plantations afin de réduire progressivement les importations d'huile de palme entre 2020 et 2025, et de passer à un statut d'exportateur net d'huile de palme. Un objectif de 350 000 tonnes d'exportations d'huile de palme par an à l'horizon 2035 est mentionné avec des superficies de plus de 100 000 hectares de palmiers à huile, tant en plantations industrielles qu'en plantations villageoises. Les trois plus gros projets de plantations sont ATAMA dans la Sangha (60 000 ha), Eco-Oil Energie également dans la

Sangha (30 000 ha) et BIOCONGO Global Trading dans la Cuvette et la Cuvette Ouest (60 000 ha). Si l'on prend en compte tous les projets de plantations en cours, le Congo pourrait compter 300 000 hectares de plantations de palmiers à huile contre 6 760 à l'heure actuelle.

Scénario « PALM+ » : Ce scénario force les surfaces en palmiers à huile à atteindre 50 000 hectares en 2020 et 300 000 hectares en 2030. Ces objectifs sont introduits au niveau national, c'est-à-dire que le modèle est libre de choisir dans quels départements allouer les plantations selon la maximisation du profit attendu et les terres disponibles.

6.4 Les objectifs de reforestation

Le PRONAR est un vaste projet de plantations forestières avec un objectif de 1 million d'hectares de plantations d'ici à 2020. Les ambitions du projet sont de créer de nombreux emplois en zone rurale avec une estimation d'environ 10 emplois créés par 100 hectares plantés l'exportation de pâte à papier et de panneaux de particule et la production de bois énergie. Sur ces 1 million d'hectares, 850 000 hectares seront effectivement plantés et 150 000 hectares seront utilisés pour la réalisation d'infrastructures (Tableau 7 : Répartition de la surface de plantation selon les trois composantes couvertes par le PRONAR). 340 000 hectares seront destinés à l'installation de plantations agro-industrielles comme le palmier à huile, le cacao ou l'hévéa.

Tableau 7 : Répartition de la surface de plantation selon les trois composantes couvertes par le PRONAR

	Surface	Description
Objectif PRONAR	1 000 000 ha	plantations + infrastructures
% infrastructures (pistes, pare-feu, ...)	15 %	
Surface effectivement plantée, occupation humaine, ...)	850 000 ha	plantés/productifs
Zones non plantables (protection, occupation humaine, ...)	30 %	
Besoin en surface affectée au PRONAR (avec titre foncier)	1 300 000 ha	avec titre fonciers
Composante 1 : Plantations forestières industrielles	50 %	
	425 000 ha	plantés/productifs
Plantations à courte rotation (Bois Industrie/Bois Energie)	80 %	
	340 000 ha	plantés/productifs
Plantations à moyenne révolution (Bois œuvre)	20 %	
	85 000 ha	plantés/productifs
Composante 2 : Plantations agroindustrielles	40 %	
	340 000 ha	plantés/productifs
Composante 3 : Plantations agroforestières rurales	10 %	
	85 000 ha	plantés/productifs

Source : Ministère de l'Économie Forestière et du développement durable de la République du Congo, Projet Forêt et Diversification Economique (PFDE), 2014

Scénario « REFOR » : Dans ce scénario, nous fixons un objectif de 1 million d'hectares de plantations à croissance rapide type eucalyptus à l'horizon 2020. Nous faisons l'hypothèse que ces plantations ne peuvent pas être effectuées dans les terres forestières, c'est-à-dire les plantations forestières ne peuvent pas remplacer la forêt naturelle. Ceci correspond à la mise en œuvre partielle des garanties de Cancun (UNFCCC, 2011).

7 Validation du modèle sur la période 2000–2010

L'année de base du modèle GLOBIOM-République du Congo 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 la déforestation historique au Congo selon les différentes sources disponibles puis nous comparons nos résultats avec les observations afin de voir si le modèle est capable de reproduire d'une manière satisfaisante les tendances observées sur 2000–2010.

7.1 Comparaison de la déforestation historique selon différentes sources

Trois cartes de changements de la couverture forestière passée, produites sur la base de données de télédétection peuvent être utilisées pour le Congo: FACET (2000–2010), GFC (2001–2010) et GAF (2000–2010). Selon ces sources, la déforestation historique varie entre 16 et 23 milliers d'hectares par an pour le Congo (Figure 31). En termes de répartition spatiale de cette déforestation historique, les différentes sources s'accordent sur le poids important du Pool (entre 13 et 16 % de la déforestation nationale) mais diffèrent de manière assez significative pour les autres régions : par exemple, le département de la Likouala représente 19 et 18 % de la déforestation totale selon FACET et GFC mais seulement 11 % selon GAF.

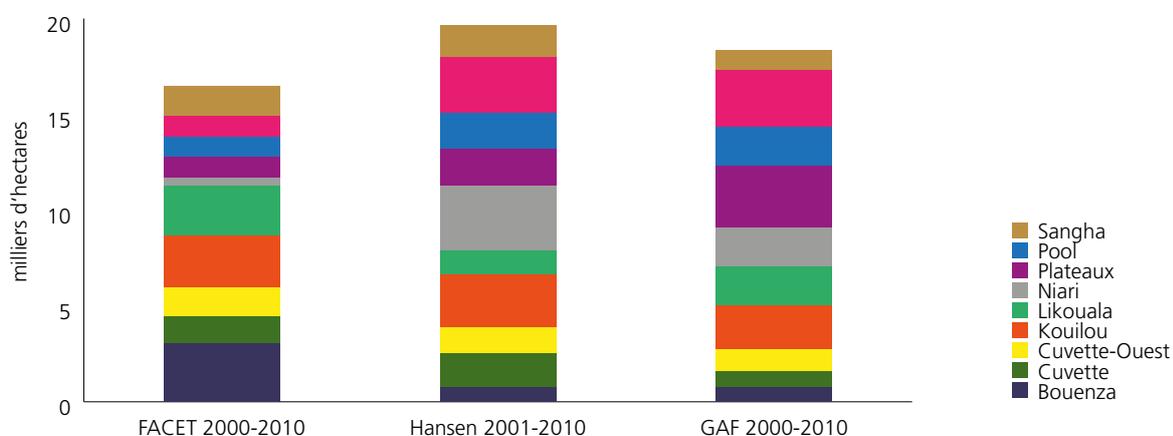


Figure 31 Déforestation annuelle historique moyenne pour l'ensemble de la République du Congo et par département entre 2000 et 2010 (FACET, GAF) ou 2001 et 2013 (GFC)

L'analyse du bureau d'études GAF (résultats présentés par BRL Ingénierie & 4 C Solutions, 2014) est la seule qui donne des chiffres sur le nouvel usage des terres déforestées : 78 % de la déforestation sur la période 2000–2010 s'est traduite par une transition de la forêt vers des espaces agricoles, 15 % par une transition vers des infrastructures/installations, et 14 % par une transition vers des prairies/savanes (ou autres terres naturelles). Ces résultats corroborent l'analyse qualitative des facteurs de déforestation qui a été présentée dans la section précédente avec les trois quarts de la déforestation expliquées par l'expansion de l'agriculture. Néanmoins, les variations entre les surfaces totales déforestées et l'allocation spatiale de la déforestation selon les sources soulignent l'incertitude importante qui reste liée à la déforestation historique et la nécessité de plus de validation de ces estimations avec des collectes de données sur le terrain.

7.2 Comparaison de la déforestation historique estimée avec la déforestation historique estimée par GLOBIOM

Ainsi, la différence entre la déforestation estimée par le modèle et la déforestation observée peut être expliquée par plusieurs facteurs :

- la non-prise en compte de certaines causes de déforestation par le modèle : avec GLOBIOM, nous simulons la déforestation qui est causée par l'expansion des terres agricoles seulement, ce qui comprend les terres cultivées et la jachère et les pâturages, alors qu'en réalité, la déforestation est également causée par d'autres facteurs tels que la construction d'infrastructures, l'étalement urbain, les incendies de forêt ou les mines ;
- des problèmes dans la représentation des liens entre secteur agricole et déforestation dans le modèle tels que des erreurs d'estimation de la productivité des terres, du temps de jachère, ou des coûts de production qui influencent la localisation et l'étendue de la déforestation;
- des erreurs de mesure de la déforestation historique sur la base de l'analyse d'images satellite.

La déforestation totale estimée par le modèle entre 2001 et 2010 est de **160 milliers d'hectares**. Pour comparaison, la déforestation observée est de 164 milliers d'hectares selon FACET (Mane *et al.*, 2012), 183 milliers selon le bureau d'études GAF (BRL Ingénierie & 4 C Solutions, 2014), et 235 milliers d'après Hansen sur 2001–2010. Nos estimations sont donc les plus proches des observations historiques de FACET mais elles sont également relativement assez proches des observations de GAF.

Si on regarde maintenant l'allocation géographique de cette déforestation nous remarquons tout d'abord que la déforestation estimée par le modèle est pour la plupart des départements dans l'intervalle des observations historiques selon les trois sources disponibles (Figure 32). Pour la Bouenza, le modèle tend à surestimer la déforestation historique, tandis que pour le Kouilou, la Likouala et la Sangha, le modèle tend à sous-estimer la déforestation historique par rapport à toutes les autres sources. Les départements du Pool, de la Bouenza et de la Cuvette sont ceux où la déforestation estimée par le modèle entre 2001 et 2010 est la plus importante. Pour la Likouala et la Sangha, les différences pourraient être expliquées par le fait que seulement 24 % et 39 % de la déforestation est attribuée à l'expansion agricole dans ces régions d'après l'analyse GAF tandis qu'une part significative est attribuée à la réalisation d'infrastructures.

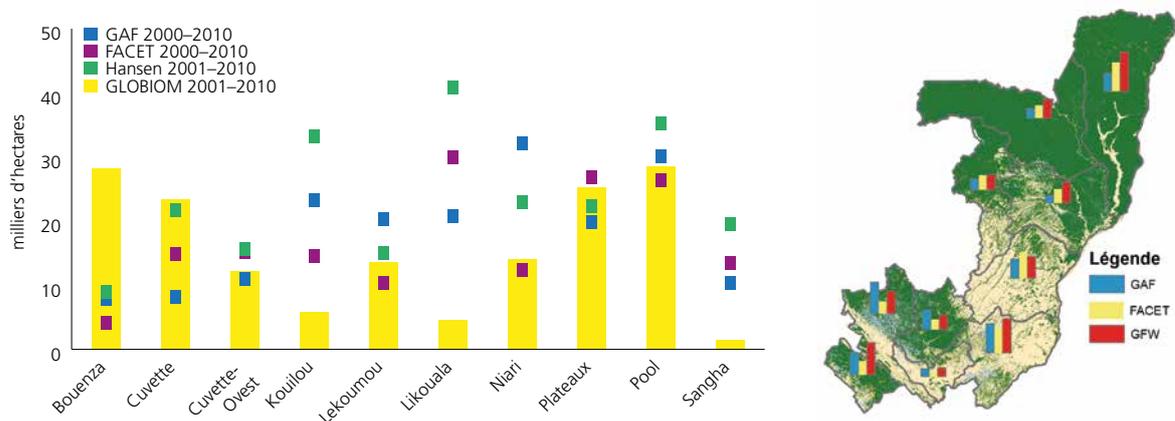


Figure 32. Comparaison de la déforestation calculée par le modèle (GLOBIOM 2001–2010) avec la déforestation observée

selon différentes sources entre 2000 et 2010 dans les provinces de la République du Congo

7.3 Evolution des surfaces cultivées et de la production par culture

Pour les 9 principales cultures représentées dans GLOBIOM, à la fois la production et les surfaces cultivées calculées par le modèle sont très proches de celles rapportées par la FAO en 2010 (Figure 33). Pour les surfaces cultivées, les projections de GLOBIOM en 2010 sont seulement 2 % en deçà des superficies reportées par la FAO pour ces 9 cultures principales avec 219 milliers d'hectares calculés contre 224 milliers d'hectares reportés par la FAO. Pour le manioc, qui est de loin la première culture au Congo, les surfaces estimées sont 4 % en-dessous de celles observées selon la FAO, et la différence dans la production est de 8 %, ce qui reste assez faible.

Les surfaces agricoles totales sont particulièrement influencées par la surface en jachères au Congo du fait des longues périodes de mise en repos des terres après une courte période de mise en culture. C'est également un des paramètres pour lesquels nous ne disposons pas de données pour vérifier que nos estimations sont correctes. D'après nos résultats, la surface en jachère représente les deux tiers de la surface agricole : pour une augmentation des terres mises en culture de 60 milliers d'hectares entre 2000 et 2010, les surfaces en jachères augmentent de 112 milliers d'hectares.

Par rapport à l'allocation géographique de la production agricole nous n'avons malheureusement pas d'éléments de comparaison pour 2010 dû à l'absence de statistiques agricoles au niveau sous-national au Congo.

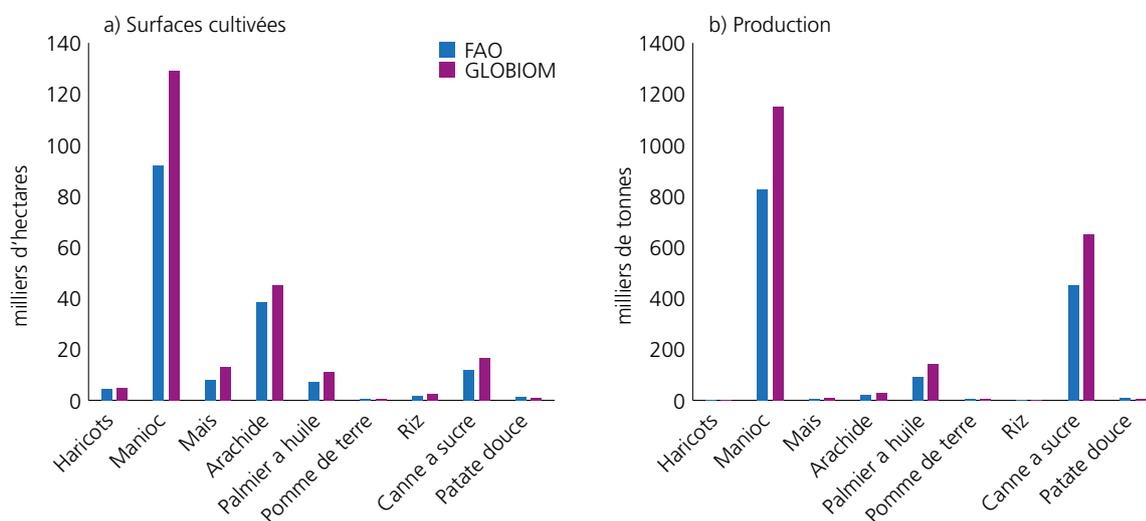


Figure 33. Comparaison par culture entre (a) les surfaces récoltées calculées par le modèle en 2010 et les surfaces récoltées observées selon la FAO en 2010 et (b) la production calculée par le modèle en 2010 et la production observée selon la FAO en 2010

8 Résultats sur 2010–2030 dans le scénario de base

8.1 Déforestation et autres changements d'utilisation des terres

Dans la Figure 34, on voit la surface qui est perdue (si la valeur est négative) ou gagnée (si la valeur est positive) par chaque type de végétation au cours de chaque période de 10 ans au niveau national. Comme nous faisons l'hypothèse que le territoire de la République du Congo reste fixe dans le temps (pas de changement des frontières), le seul moyen d'étendre un certain type de couverture végétale est de réduire un autre. Ainsi, si on fait la somme de ce qui a été perdu par certains types de couverture végétale (en hachuré dans la figure) et ce qui a été gagné par d'autres types de couverture végétale, cela nous donne zéro.

On observe une augmentation des pressions sur les types de végétation naturelle au cours du temps : dans le scénario de base, la déforestation passe de 157 milliers d'hectares entre 2000 et 2010 à 253 milliers d'hectares entre 2020 et 2030, soit une augmentation de 60 % (en vert sur la figure). La déforestation est principalement causée par l'expansion des cultures (en jaune) et pour une faible proportion par l'expansion de pâturages (en rouge). Nous remarquons également une forte augmentation de la conversion des autres terres naturelles (savanes – en orange) en terres cultivées : 45 % de l'expansion des terres cultivées a lieu dans les autres terres naturelles sur la période 2020–2030.

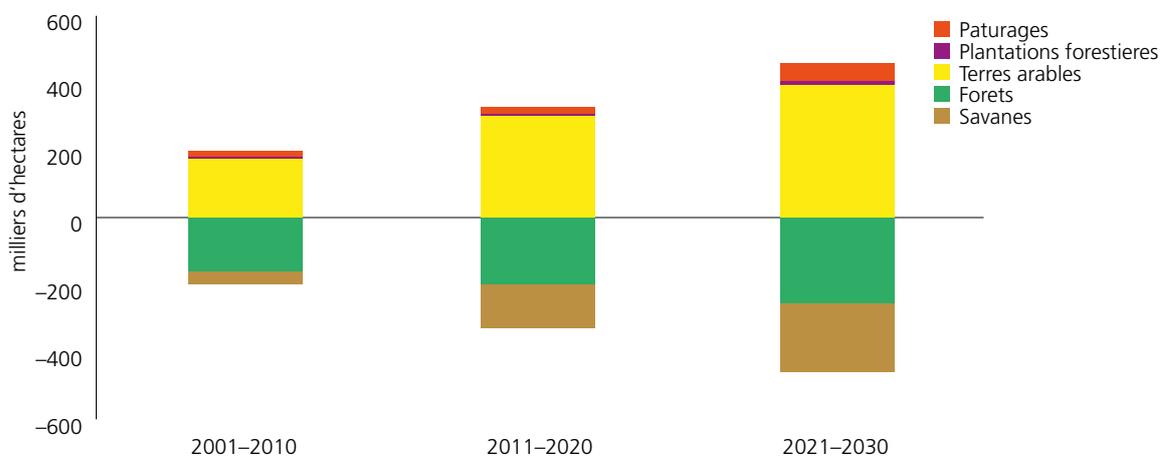


Figure 34. Gains et pertes nets de surfaces pour chaque type de végétation pour chaque période de simulation (période de 10 ans) en milliers d'hectares

Plus précisément, on estime que deux tiers de la déforestation calculée entre 2010 et 2030 viennent de l'expansion du manioc et de l'arachide et des jachères associées. Les surfaces de canne à sucre augmentent sur la période mais la surface déforestée associée reste assez stable avec 14 000 hectares par an en moyenne. Sur la dernière période de simulation, l'expansion du palmier à huile et l'expansion des pâturages pousse la déforestation à la hausse : 20 000 hectares de forêts sont convertis en palmiers à huile et 45 000 hectares en pâturages (Figure 35).

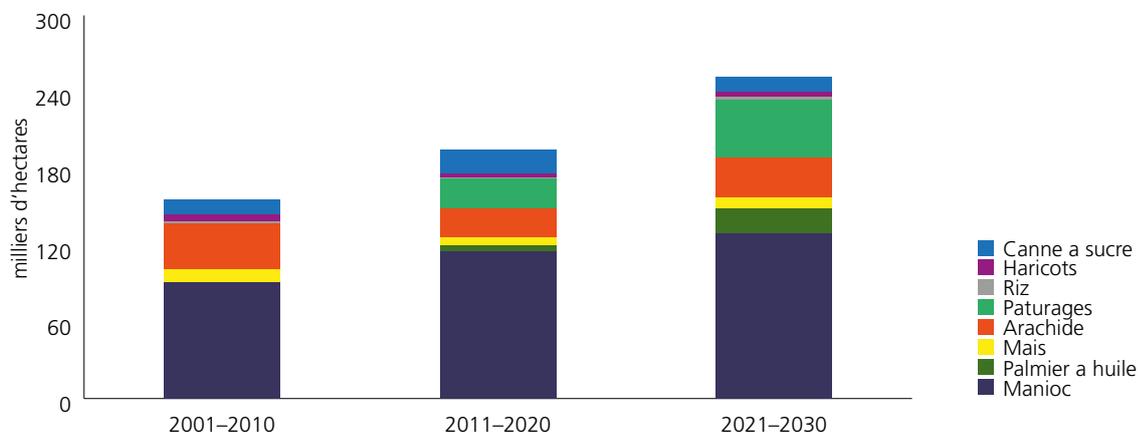


Figure 35. Projections de la déforestation par cause en République du Congo pour chaque période de simulation

Un tiers de la déforestation totale qui est prédite par le modèle entre 2011 et 2030 est localisée dans le département de la Cuvette où elle est principalement expliquée par l'augmentation des cultures vivrières et des pâturages. Les départements des Plateaux, de la Likouala, du Niari, de la Cuvette Ouest et de la Bouenza suivent avec une déforestation entre 40 000 et 60 000 hectares entre 2010 et 2030. Nous remarquons que tandis que la déforestation dans les Plateaux et la Cuvette-Ouest est expliquée à 80 % par l'expansion du manioc, de l'arachide et du maïs, dans la Bouenza la canne à sucre cause 56 % de la déforestation et dans la Likouala, le palmier à huile cause 37 % de la déforestation (Figure 36).

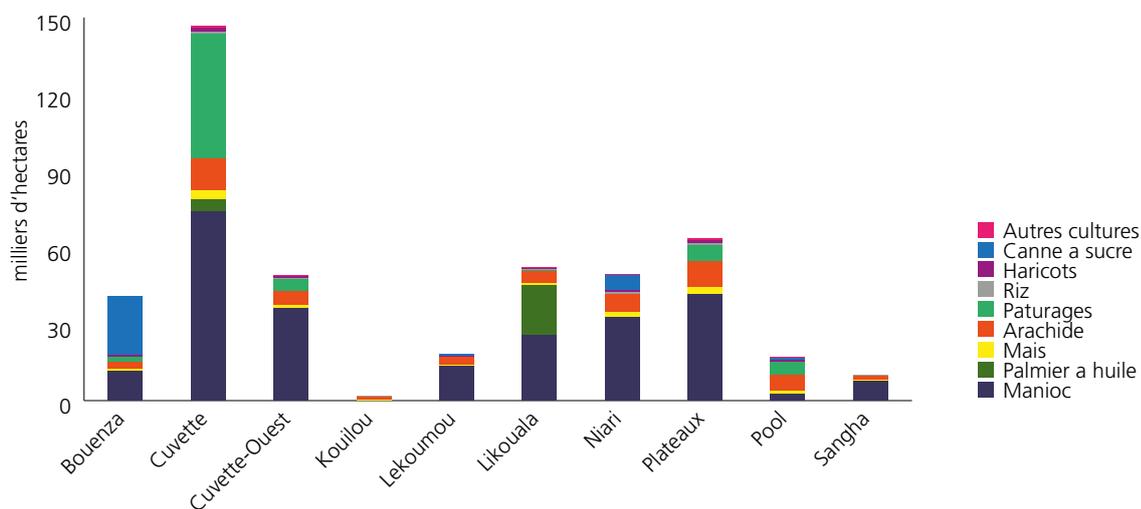


Figure 36 Décomposition de la déforestation calculée entre 2011 et 2030 par cause pour chaque département

8.2 Production et consommation agricole

La consommation moyenne de calories par habitant par an augmente de 35 % entre 2010 et 2030 en République du Congo. La production de calories d'origine végétale (cultures) suit l'augmentation de la consommation sur la période 2010–2030 ce qui veut dire que le déficit en calories d'origine végétale reste à peu près constant (Figure 37). Par contre, l'augmentation de la consommation de calories d'origine animale (viande et lait) est principalement satisfaite à travers une augmentation des importations. La production augmente légèrement pour couvrir 28 % des besoins locaux en viande et en lait en 2030.

Plus précisément, le Congo parvient à augmenter suffisamment la production locale de manioc pour satisfaire les besoins de la population sans recourir aux importations. Par contre, les importations de céréales, notamment de riz et de blé, doublent presque entre 2010 et 2030 (+ 88 %). Le Congo multiplie par 10 ses exportations en sucre et devient autosuffisant en huile de palme mais cela n'est pas suffisant pour compenser la hausse des importations des autres biens. La valeur du déficit commercial du Congo en produits agricoles augmente de 25 % sur la période.

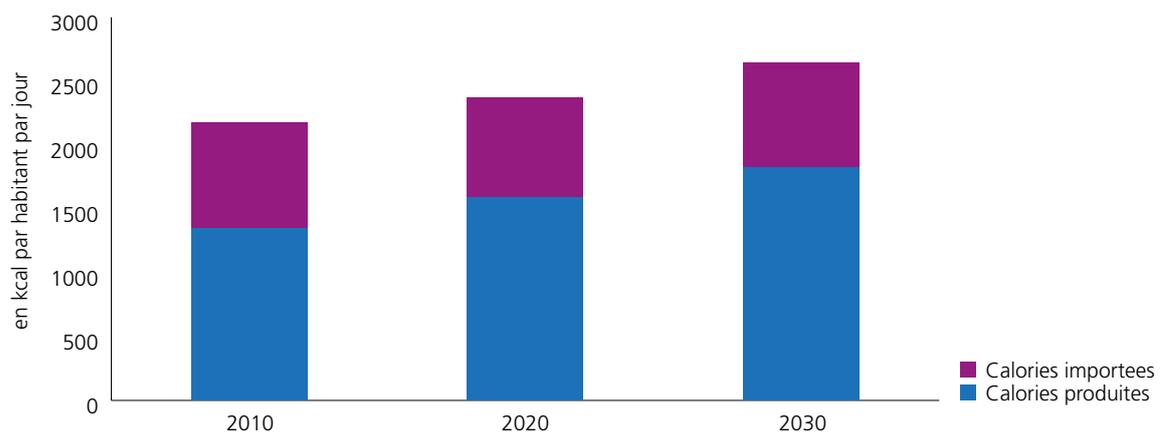


Figure 37. Evolution de la production de calories d'origine végétale par habitant par an et du déficit pour couvrir la consommation moyenne de calories d'origine végétale par habitant par an

8.3 Exploitation du bois

Comme nous avons figé les surfaces sous concessions forestières à la surface actuelle et que nous ne prenons en compte que les forêts humides non inondées dans les concessions, nous obtenons 12 millions d'hectares de forêts exploitées au Congo en 2030 (cf. section 4.4.1). La production de grumes reste donc similaire à ce qu'elle est actuellement c'est-à-dire 1.5 millions de m³, dont environ 60 % est transformé en sciages et placages. La production de bois de chauffe passe de 1.6 millions de m³ en 2000 à 3.6 millions de m³ par an en 2030 afin de satisfaire la demande en énergie de la population de la République du Congo. Dans nos simulations, le bois de chauffe provient principalement des jachères agricoles. La dégradation des forêts liée au bois de chauffe n'est donc pas comptabilisée car les jachères agricoles ne sont plus considérées comme des forêts dans le modèle.

8.4 Les émissions

Nous utilisons quatre cartes de biomasse alternatives pour calculer les émissions issues de la déforestation au Congo : Saatchi (Saatchi *et al.* 2011), Baccini (Baccini *et al.*, 2012), FRA2010 (Kindermann *et al.*, 2008) et Avitabile (Avitabile *et al.*, 2016). Nos résultats montrent des émissions issues de la déforestation entre 244 et 282 millions tCO₂ sur la période 2011–2030. Les émissions issues de la déforestation augmentent entre 55 % et 68 % entre 2010 et 2030 selon la carte de biomasse utilisée. Le choix de la carte de biomasse mène à une différence de 15 % des émissions issues de la déforestation au niveau national sur la période 2011–2030 (Figure 38).

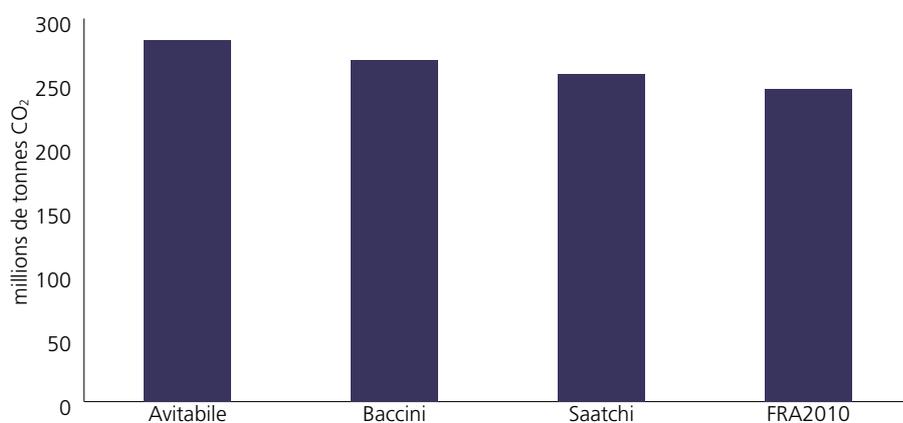


Figure 38. Emissions issues de la déforestation totale projetée pour la République du Congo entre 2011 et 2030 en utilisant différentes cartes de biomasse

L'intensité moyenne en carbone que l'on obtient (ou facteur d'émission par hectare) varie entre 148 et 171 tC/ha sur la période 2011–2030 (Tableau 8). Ceci est très proche de la densité en carbone estimée dans la littérature pour la déforestation historique sur 2000–2010 pour le Congo (Harris *et al.*, 2012) où la valeur médiane était de 160 tC/ha, la valeur minimum de 147 tC et le maximum de 171 tC/ha.

Tableau 8 : Evolution des facteurs d'émission pour la déforestation selon la carte de biomasse utilisée

Unité	Carte de biomasse	2001–2010	2011–2020	2021–2030	2011–2030
en tCO₂/ha	Saatchi	594	565	576	570
	Baccini	579	579	610	595
	FRA 2010	530	541	547	543
	Avitabile	617	605	649	628
en tC/ha	Saatchi	162	154	157	155
	Baccini	158	158	166	162
	FRA 2010	145	147	149	148
	Avitabile	168	165	177	171

Il y a deux autres sources principales d'émissions issues de l'utilisation des terres au Congo : l'exploitation forestière et la conversion d'autres terres naturelles pour l'agriculture. Le secteur agricole n'utilisant quasiment pas d'intrants et l'élevage étant faible dans nos simulations, très peu d'émissions sont issues de ce secteur d'activité au Congo (moins d'un million de tonnes CO₂ sur 2011–2030). Si on utilise le facteur d'émission pour l'exploitation forestière conventionnelle formelle, on obtient 110 millions de tonnes CO₂ issues des concessions forestières sur la période 2011–2030 ce qui représente 20 % des émissions totales (Figure 39). Ensuite en utilisant les mêmes cartes de biomasse décrites précédemment, on obtient des émissions de 120 millions de tonnes CO₂ dues à la conversion des autres terres naturelles (savanes) en terres

agricoles. Pour obtenir les émissions totales entre 2011 et 2030, il faut donc presque doubler les émissions issues de la déforestation. **Les émissions totales issues de la conversion des terres naturelles en terres agricoles et de l'exploitation forestière au Congo sont estimées à 513 millions de tCO₂ sur la période 2011–2030.**

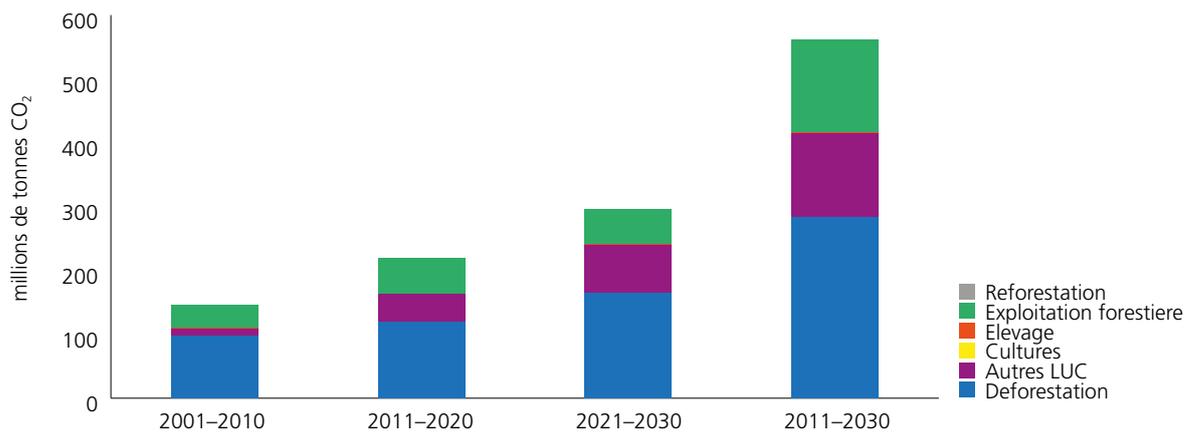


Figure 39 Émissions par source par période de 10 ans ou cumulées sur la période 2011–2030 au Congo

8.5 Impacts potentiels sur la biodiversité

La diminution à la fois des aires forestières et des autres terres naturelles dans le scénario de référence représente une menace pour la biodiversité dans ces aires et les services aux populations que ces zones naturelles peuvent fournir. Cependant, le changement d'utilisation des terres projeté et les pressions sur la biodiversité qui en résultent, ne sont pas répartis uniformément entre les différents écosystèmes de la République du Congo (Figure 40). Les principaux moteurs du changement de l'utilisation des terres ne sont également pas les mêmes dans les différentes écorégions. Les forêts du Nord-Ouest congolais, devraient selon les projections, perdre la plupart des forêts non exploitées à travers leur conversion en forêts exploitées. Cependant, les forêts situées dans la mosaïque de forêts et de savanes dans l'Ouest du Congo devraient subir les plus grandes proportions de conversion complète en terres cultivées.

La perte totale d'habitat naturel en raison de la conversion en terres cultivées est susceptible d'avoir un impact beaucoup plus grand sur les espèces que le changement de la forêt non exploitée en forêt exploitée. L'impact des forêts exploitées varie considérablement en fonction de leur gestion. Le modèle de gestion adopté par la République du Congo pour ses concessions est un modèle durable, axé sur l'écroulement de certaines espèces et le renouvellement des stocks. En théorie, il ne provoque donc pas de perte permanente de la couverture forestière ou d'épuisement de certaines espèces d'arbres. En termes d'impacts sur la faune, les concessions forestières peuvent être exploitées de manière à contribuer à préserver la biodiversité mais elles peuvent également, à travers la création de chemins d'accès, ouvrir des zones autrefois inaccessible et conduire à la mise en danger des populations de certaines espèces par une chasse excessive.

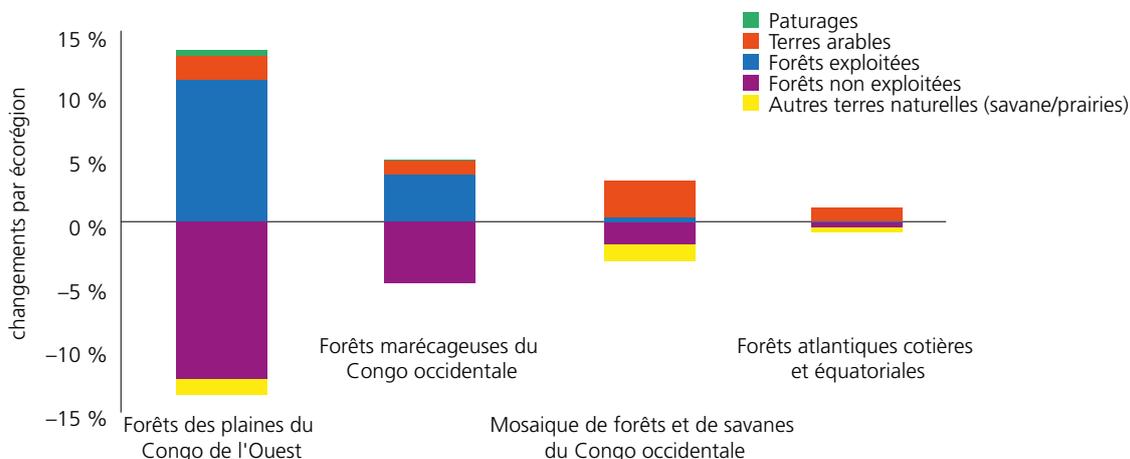
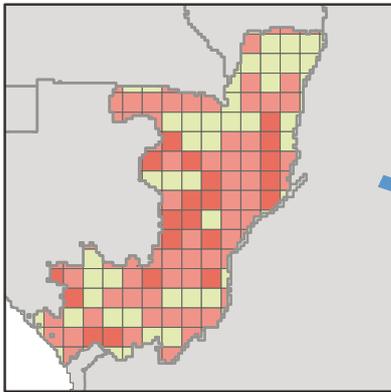


Figure 40 Variation totale de l'utilisation des terres sur la période 2011–2030 dans les écorégions du Congo.

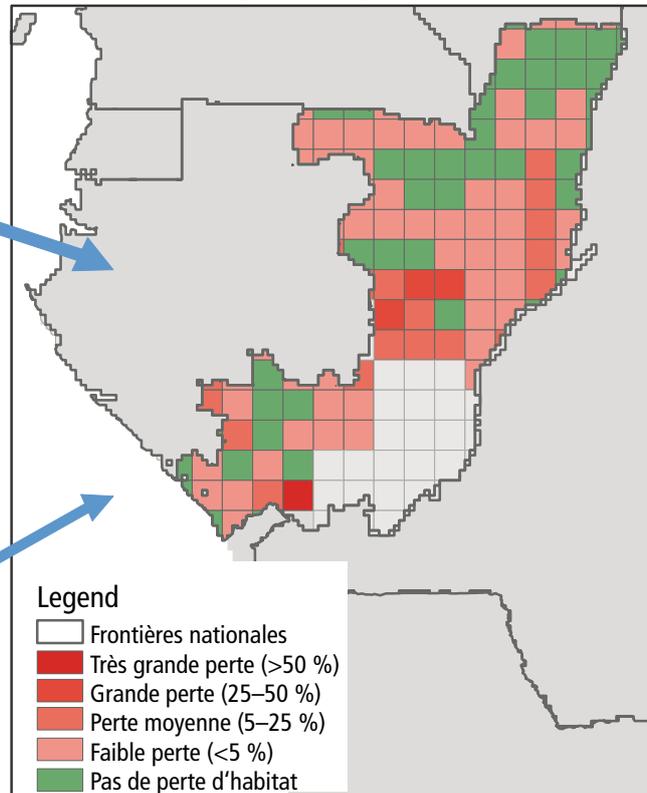
Le changement présenté dans la Figure 40 est le pourcentage d'un type de végétation dans la superficie totale de l'écorégion en pleine mutation ; par exemple, pour les forêts du Nord-Ouest congolais, il y a une augmentation de la proportion des terres cultivables, des forêts exploitées et des pâturages, et une diminution correspondante de la forêt non exploitées et des terres naturelles de 13.6 % de la superficie de l'écorégion entre 2010 et 2030.

La combinaison des informations sur la perte des forêts entre 2010 et 2030 avec les informations sur l'aire de répartition des grands singes souligne, selon les projections, une perte de leur habitat sur une grande partie du pays dans le scénario de référence (Figure 41). La perte totale est inférieure à deux pourcent de leur aire totale dans le pays. Cependant, comme cette perte est très dispersée, il y a un risque que cela augmente la fragmentation de l'aire de répartition des grands singes. En outre, la distribution de cette perte signifie qu'il y a beaucoup de régions où les services potentiels que les espèces de grands singes peuvent fournir pourraient diminuer, y compris leur rôle dans le soutien du développement des activités d'écotourisme.

Modélisation de la distribution des déforestation (2010–2030) dans le scénario de base



Modélisation de l'impact des changements de couverture des sols sur l'habitat potentiel disponible pour les grands singes



Habitat potentiel pour les grands singes 2010

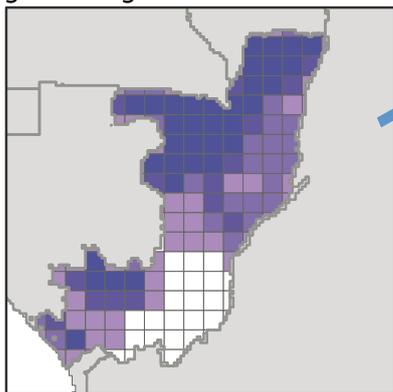


Figure 41 Modélisation de l'impact de la déforestation sur l'habitat potentiel pour les grands singes par unité de simulation (cartes de gauche en milliers d'hectares).

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 services potentiels 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 11 des 946 espèces évaluées sont estimées perdre plus de 5 % de leur habitat potentiel disponible dans le pays dans le scénario de base, et 465 sont estimées perdre plus de 2 % de leur habitat potentiel disponible. 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 (Figure 42).

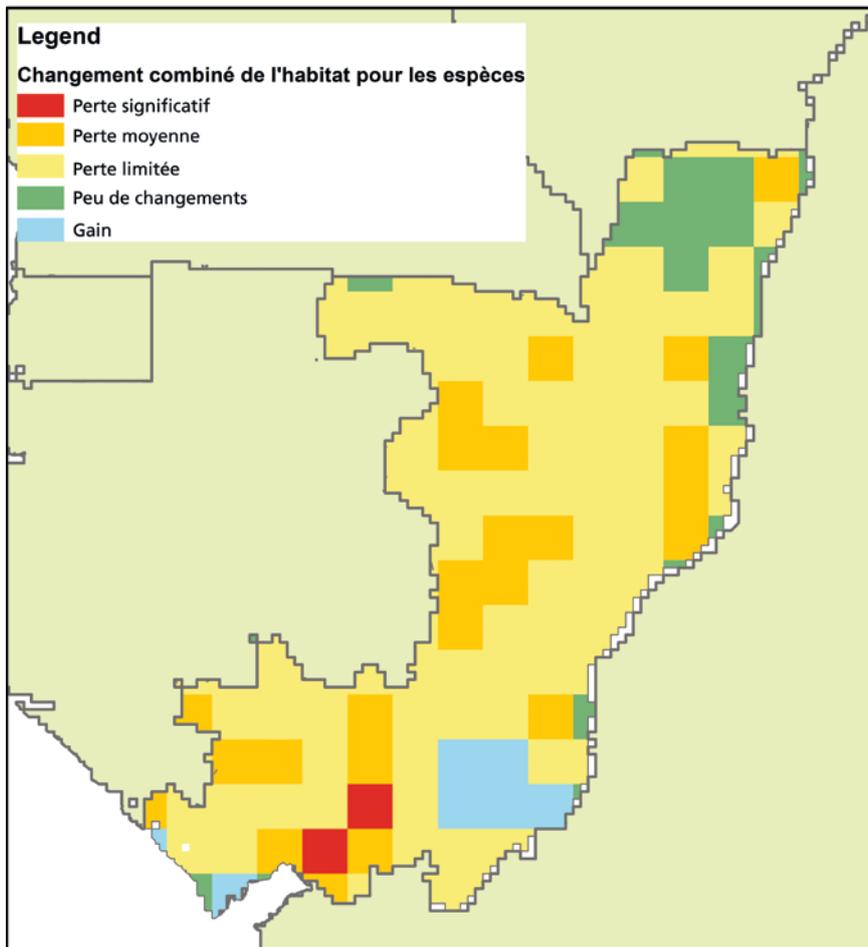


Figure 42 Carte de l'impact combiné de la perte d'habitat des espèces de 2010 à 2030 pour l'ensemble des espèces, pondérée par l'endémisme relatif de chaque espèce.

9 Résultats pour les scénarios alternatifs

9.1 Déforestation et autres changements d'utilisation des terres

La déforestation totale entre 2010 et 2030 en République du Congo varie entre 314 et 697 milliers d'hectares soit une réduction de la déforestation de 30 % par rapport au scénario de base ou une augmentation de 55 % (Figure 43).

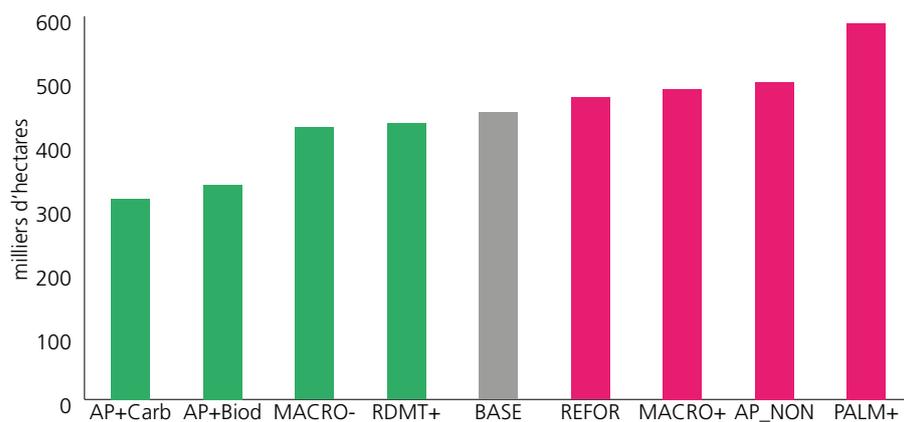


Figure 43 Déforestation totale cumulée sur la période 2010–2030 selon différents scénarios : les scénarios en vert réduisent la déforestation future par rapport au scénario de base tandis que les scénarios en rouge augmentent la déforestation future

Le scénario le plus pessimiste est celui où il pourrait y avoir une conversion des forêts dans les concessions forestières (FC_Non). Les autres scénarios qui entraînent une augmentation des pressions sur les forêts du Congo sont les objectifs de développement du palmier à huile (Palm+), le non-respect des aires protégées (AP_Non) et une plus forte augmentation de la population et du PIB (Macro+). Un objectif de 1 million d'hectares de plantations d'arbres (REFOR) entraîne également une augmentation de la déforestation par rapport au scénario de base. Les plantations ne peuvent pas être établies dans la forêt mais une plus forte occupation des autres terres naturelles peut entraîner le déplacement de certaines activités agricoles des savanes vers les forêts. L'augmentation de la déforestation est cependant limitée à 5 % dans ce scénario.

Pour les facteurs qui pourraient conduire à une plus faible déforestation dans les prochaines décennies il y a l'expansion des aires protégées jusqu'à 17 % du territoire national (AP+). Nous rappelons ici que l'expansion des aires protégées est basée ici sur les zones où la pression démographique est particulièrement forte dans le futur. On remarque que l'expansion selon un critère carbone (AP+Carb) réduit la déforestation de 5 % en plus par rapport au scénario d'expansion selon un critère de biodiversité seulement (AP+Biod). Une plus faible croissance démographique et économique (Macro-) réduirait également la déforestation par rapport au scénario de base, mais seulement de 5 %. Cependant, la déforestation pourrait être réduite presque d'autant sans réduire la croissance économique et la croissance démographique mais en investissant dans des techniques de production agricoles plus performantes (Rdmt+).

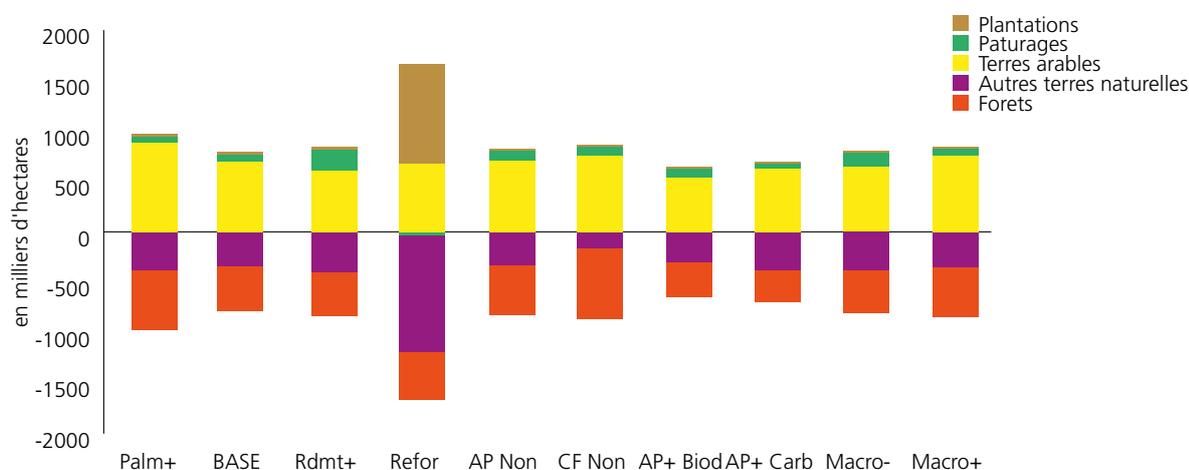


Figure 44 Conversion ou expansion des différents types d'occupation des sols sur la période 2011–2030 pour chaque scénario. Comme la surface de terre totale est fixe, la somme de ces changements est égale à zéro pour chaque période.

Pour l'ensemble des changements d'utilisation des terres sur la période 2011–2030 au Congo, on observe la plus grande conversion des autres terres naturelles (savanes) dans le scénario de plantations forestières (REFOR). Ce n'est pas surprenant puisque l'objectif est élevé – 1 million d'hectares de plantations- et l'utilisation des autres terres naturelles est la seule possibilité d'expansion des plantations dans ce scénario. On remarque que cela est aussi aux dépens des pâturages et dans une moindre mesure, des cultures. Un autre scénario intéressant est celui de l'expansion des plantations de palmiers à huile (Palm+). C'est le scénario qui a l'augmentation la plus forte de terres cultivées. Cependant, si les concessions forestières et les aires protégées existantes sont bien respectées, près de la moitié de cette expansion a lieu dans les savanes (Figure 44). Au contraire, dans le cas où la conversion des forêts devient possible dans les concessions forestières qui existent aujourd'hui, sans objectif d'expansion agricole particulier, on a une augmentation plus forte de la déforestation du a une relocalisation importante de certaines activités agricoles des zones de savane vers les zones forestières (FC_Non comparé à Base).

9.2 Production et consommation agricole

L'expansion des aires protégées et l'augmentation de la population entraînent une réduction de la production de calories par habitant, particulièrement la production de calories animales qui diminue entre 20 et 30 % par rapport au scénario de base (Figure 45). L'augmentation des rendements agricoles augmente la production de calories par habitant à la fois d'origine végétale et animale. En effet, l'augmentation des rendements des cultures profite aussi à l'élevage grâce à une réduction des prix de l'alimentation du bétail. L'expansion des plantations en palmiers à huile entraîne une forte augmentation de la production de calories d'origine végétale à travers la forte augmentation de la production d'huile de palme. Dans les scénarios de non-respect des concessions forestières ou des aires protégées, il n'y a qu'une très faible augmentation de la production de calories : cela confirme le fait que l'augmentation de la déforestation dans ces scénarios n'est pas causée par une augmentation de la production mais par un changement de localisation de la production.

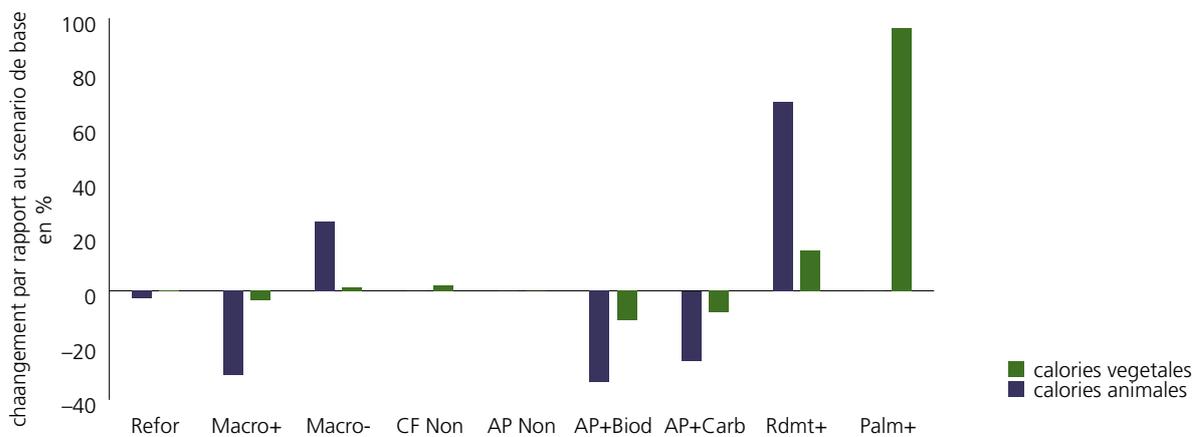


Figure 45 Impact des différents scénarios sur la production moyenne de calorie par habitant en 2030

9.3 Emissions

Les émissions issues de la déforestation sur la période 2011–2030 varient entre 162 et 649 millions de tCO₂, soit une variation entre -34 % et +130 % par rapport au scénario de base (Figure 46). On remarque que les émissions issues de la déforestation augmentent plus que proportionnellement que les surfaces déforestées en cas de non-respect des concessions forestières (FC-Non) ce qui sous-entend que la déforestation a lieu dans des forêts particulièrement denses en carbone dans ce scénario. L'incertitude quant au contenu carbone des forêts augmente également dans ce scénario avec une différence de 268 millions de tCO₂ entre les estimations utilisant la carte de Kindermann *et al.* (minimum) et Avitabile *et al.* (maximum).

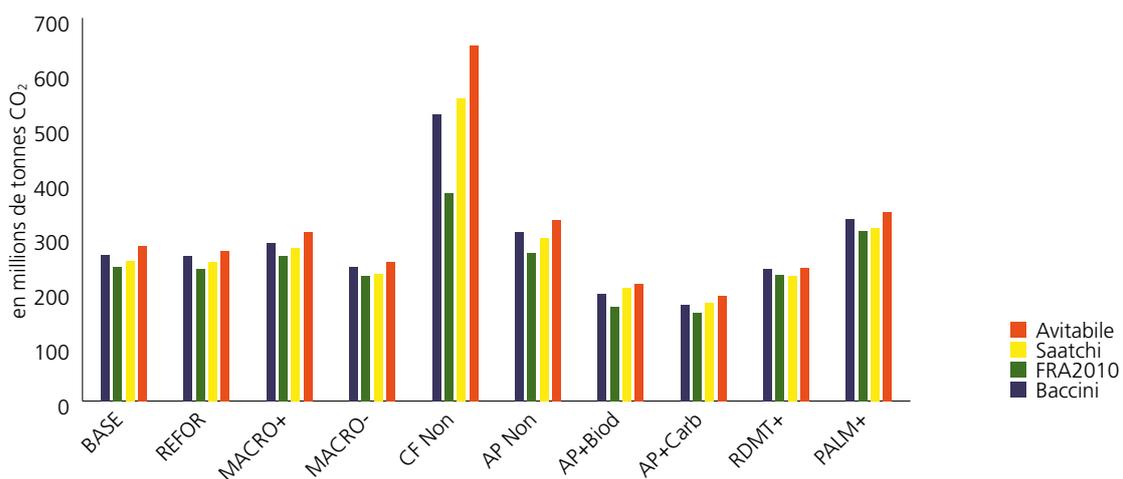


Figure 46 Variation des émissions issues de la déforestation sur la période 2011–2030 selon le scénario et la carte de biomasse utilisée

En plus de la déforestation, la conversion des autres terres naturelles et l'exploitation forestière sont les principales sources d'émissions estimées pour la République du Congo (section 8.4). En tout, les émissions varient entre 471 et 688 millions de tCO₂ sur 2011–2030 lorsque l'on utilise la carte de biomasse d'Avitabile *et al.* (2016) ce qui revient à une variation entre -14 % et +25 % par rapport au scénario de base (Figure 47). Malgré la suppression des émissions liées à l'exploitation forestière dans le scénario de rétrocession des concessions forestières existantes, les émissions totales augmentent à cause de la forte augmentation des

émissions issues de la déforestation. De plus, il y a un risque pour qu'en réalité, plus de bois soit extrait dans des forêts non-gérées avec des émissions associées plus grandes en cas de rétrocession des concessions. Dans le scénario d'expansion des plantations forestières, nous nous attendions à une réduction des émissions liées à la séquestration de carbone dans les plantations. Au contraire dans nos résultats, l'expansion des plantations est source d'émissions supplémentaires. Cela est dû au fait que dans nos simulations les plantations sont installées dans des savanes qui ont un contenu carbone initial qui est souvent plus élevé que la séquestration que l'on peut prévoir avec des plantations d'arbres à croissance rapide de type eucalyptus. Ainsi, l'identification préalable de savanes pauvres en carbone est nécessaire pour pouvoir relier les plantations à d'éventuels crédits REDD+. Les émissions directes issues de l'agriculture restent marginales dans tous les scénarios. Nous avons également testé l'impact du passage d'une exploitation conventionnelle à une exploitation sous aménagement dans les concessions forestières. La différence d'émissions est de 10 millions de tCO₂ sur 2010–2030 soit moins de 2 % des émissions totales.

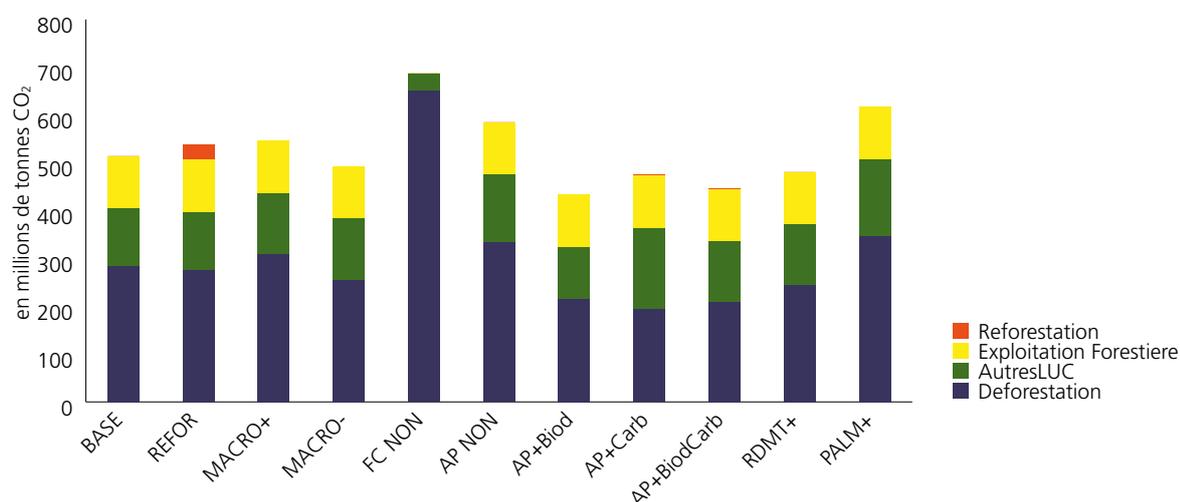


Figure 47 Émissions par source cumulées sur 2010–2030 selon différents scénarios au Congo

9.4 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 Figure 48 montre l'impact total sur l'habitat du gorille des plaines occidentales (*Gorilla gorilla*) et du chimpanzé (*Pan troglodytes*). Là où la déforestation conduit à la perte d'étendues représentant un habitat pour les deux espèces, la zone est effectivement représentée deux fois. Par conséquent, les scénarios où chaque espèce perd en habitat à des endroits différents ont un impact équivalent aux scénarios où les deux espèces perdent de leur habitat au même endroit. Dans les zones où les espèces coïncident, l'aire de perte totale de l'habitat des espèces peut donc être supérieure à l'aire déforestée. L'expansion des plantations de palmiers à huile, 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, en particulier là où le potentiel de développement des palmiers à huile est élevé.

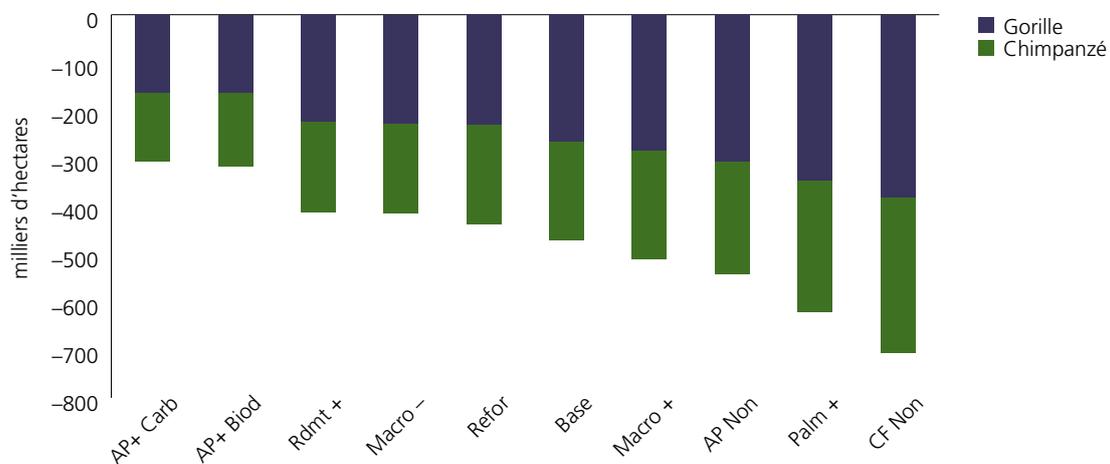


Figure 48 Impact des différents scénarios sur la perte d'habitat potentiel pour les grands singes 2030.

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 qui inclut les objectifs de plantations forestières (Refor). Dans ce scénario, on estime que 249 des 946 espèces évaluées, dont 17 sont protégés par la loi et deux ont été identifiés comme globalement menacés, perdraient plus de 5 % de leur habitat (Figure 49). Dans tous les autres scénarios, moins de 30 espèces dont une espèce protégée, devraient perdre plus de 5 % de leur habitat. La réalisation de plantations d'arbres sur 1 million d'hectares en 2020 conduit à la conversion de terres naturelles (y compris les prairies et les savanes naturelles) ce qui conduit à un impact négatif sur les espèces présentes dans ces aires. Les espèces de savane pour lesquelles une perte d'habitat est projetée comprennent certaines qui sont utilisées pour la chasse comme le grand cobe des roseaux (*Redunca arundinum*), l'oie armée de Gambie (*Plectropterus gambensis*) et le guib harnaché (*Tragelaphus scriptus*). Ces résultats mettent en évidence le risque potentiel d'une augmentation des plantations pour la protection de la biodiversité. Évaluer soigneusement les emplacements des nouvelles plantations peut aider à limiter leur impact sur les zones les plus importantes pour la biodiversité des savanes.

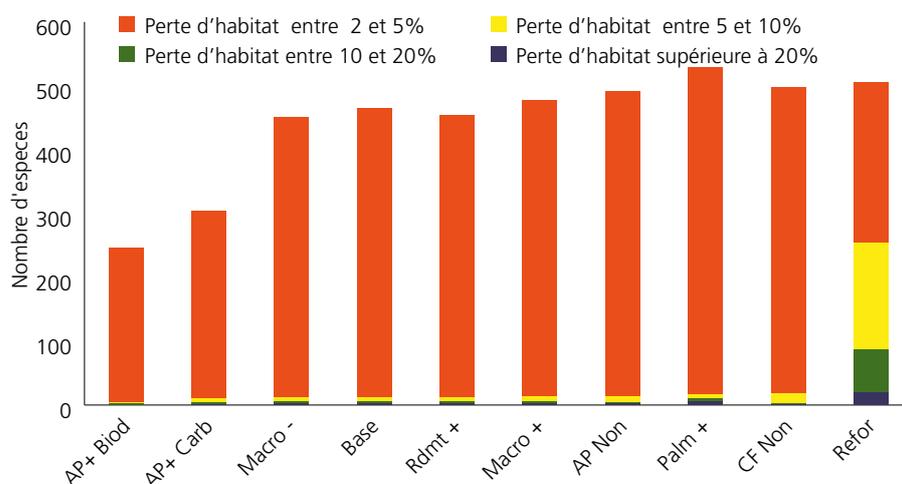


Figure 49 Nombre d'espèces dont l'habitat potentiel est converti à d'autres usages sur la période 2010–2030

Les scénarios dans lesquels la perte d'habitat des espèces est la moindre, et dans lesquels la perte 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). 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, conduit sans surprise à la plus grande réduction de la perte d'habitat de toutes les espèces. C'est également le seul scénario qui empêche une perte d'habitat de plus de 20 % pour chaque espèce. 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 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. 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.

10 Quels facteurs peuvent réconcilier plusieurs objectifs ?

Les décideurs politiques sont souvent confrontés à la nécessité de réaliser plusieurs objectifs avec des ressources limitées. Il est donc important d'identifier les politiques qui peuvent permettre de réaliser plusieurs objectifs à la fois.

10.1 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.

- **Éliminer 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.** » Le Congo fait malheureusement partie de ces pays. Une évaluation du Center for Global Development indique néanmoins qu'en 2011 le Congo avait déjà atteint l'objectif de réduction de moitié de la proportion de la population qui souffre de la faim¹⁶. Pour la réduction de la pauvreté, l'objectif était de descendre à 18 % de la population vivant avec moins d'un dollar par jour en parité de pouvoir d'achat 2015 (DSRP 2005) mais nous n'avons pas pu trouver les données relatives à l'évolution du taux de pauvreté d'après l'enquête auprès des ménages ECOM2 (2011).

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 faim¹⁷ (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

16 <http://www.cgdev.org/page/mdg-progress-index-gauging-country-level-achievements>
 17 <http://www.un.org/fr/zerohunger/#&panel1-1>

préservation des écosystèmes, renforcent les capacités 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.

10.2 Analyse multi-objectifs

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 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 5 % 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 9 : 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 de leur habitat ^{f)}
BASE	2303	171	404	282.0	1.5 %	11
MACRO+	-3.3 %	12.3 %	7.9 %	8.9 %	8.1 %	18.2 %
MACRO-	1.1 %	-18.5 %	-5.2 %	-10.4 %	-11.9 %	0.0 %
AP Non	0.0 %	1.4 %	17.4 %	17.2 %	14.9 %	18.2 %
CF Non	2.0 %	-10.7 %	70.3 %	129.6 %	50.0 %	72.7 %
AP + Biod	-10.8 %	39.9 %	-19.6 %	-24.4 %	-33.1 %	-54.5 %
AP+ Carb	-7.8 %	28.7 %	-9.7 %	-32.2 %	-33.6 %	-45.6 %
REFOR	-0.1 %	0.3 %	5.9 %	-3.0 %	-7.4 %	2209.1 %
RDMT +	14.9 %	-32.0 %	-8.0 %	-13.8 %	-12.5 %	9.1 %
PALM+	96.3 %	0.5 %	25.6 %	21.9 %	31.4 %	54.5 %

- a. production de calories par habitant en 2030 sur la base des 18 cultures représentées dans le modèle
b. valeur des importations de produits agricoles en 2030 sur la base des 18 cultures représentées dans le modèle
c. total des émissions issues du secteur agricole et des changements d'usages des terres entre 2011 et 2030
d. total des émissions issues de la déforestation entre 2011 et 2030
e. part de l'aire d'habitat potentiel des grands singes convertie en d'autres usages entre 2011 et 2030
f. nombre d'espèces qui perdent plus de 5% de leur habitat potentiel dans le pays entre 2011 et 2030

D'après nos résultats, l'augmentation de la productivité agricole et une croissance démographique et économique plus faible entraîneraient des gains significatifs à la fois pour le développement agricole, l'atténuation du changement climatique et la conservation de la biodiversité (Tableau 9 : 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)). A l'inverse, la combinaison d'une plus forte croissance économique et d'une plus forte croissance de la population entraînerait une dégradation de tous les indicateurs. Pour les autres politiques qui sont testées, on observe des arbitrages avec soit un gain pour le développement agricole mais des pertes pour l'environnement tels que l'expansion des palmiers à huile ou l'expansion agricole dans les concessions forestières, ou des gains pour le climat et la biodiversité mais des pertes pour le développement agricole, tel que le scénario sur l'expansion des aires protégées. Bien qu'il puisse entraîner d'autres retombées positives qui ne sont pas considérées ici, le plan de reboisement à grande échelle est négatif pour la plupart de nos indicateurs mais en particulier pour la biodiversité avec une forte augmentation du nombre d'espèces qui risquent de perdre plus de 5 % de leur habitat potentiel qui passe de 11 à 167.

11 Discussion des résultats

Le Congo a soumis son Niveau d'Emissions de Référence des Forêts (NERF) à la CNUCC en janvier 2016. Nous comparons tout d'abord nos résultats avec le NERF puis nous discuterons des facteurs qui pourraient affecter nos résultats et potentiellement mener à des résultats différents.

11.1 Comparaison de nos résultats avec le NERF national

En janvier 2016 le République du Congo a soumis à la CNUCC un NERF au niveau national¹⁸. Le calcul du NERF a été fait conjointement avec la FAO et se fonde sur l'approche « historique adapté » qui permet d'augmenter le niveau de déforestation observé dans le passé par un facteur d'ajustement qui doit refléter les circonstances particulières nationales (République du Congo, 2016). Cependant, le facteur d'ajustement de la déforestation choisi par la République du Congo comprend seulement la déforestation planifiée par l'Etat : la contribution des mines à la déforestation future est estimée à 1,7 milliers d'hectares par an et le développement des plantations de palmiers à huile à 23,8 milliers d'hectares par an ce qui donne un total de 25 milliers d'hectares de déforestation planifiée par an à l'horizon 2020.

Les résultats que nous avons obtenus avec GLOBIOM montrent une déforestation moyenne par an sur la période 2011–2020 comprise entre 13.5 et 29 milliers d'hectares selon les scénarios dont une déforestation de 19.6 milliers d'hectares dans le scénario de base. La première conclusion que l'on peut dériver de cette comparaison est que la déforestation future soumise dans le NERF est dans l'intervalle des estimations obtenues avec GLOBIOM même si le NERF est plutôt dans le haut de l'intervalle : la déforestation moyenne sur tous nos scénarios se situe autour de 20 milliers d'hectares.

Cependant, ce ne sont pas les mêmes causes qui sont avancées dans les deux approches. Alors que 92 % de la déforestation future du NERF vient du développement des plantations de palmiers à huile, l'expansion des palmiers à huile n'explique que 7 % maximum de la déforestation future dans les résultats de notre étude. Dans le scénario d'expansion des plantations de palmiers à huile, nous avons considéré 50 000 hectares de développement en 2020 et 250 000 hectares en 2030. Les hypothèses du NERF sont une augmentation rapide de la mise en œuvre des plantations de palmiers à huile qui sont planifiées par l'Etat avec déjà 120 000 hectares de plantations nouvelles entre 2015 et 2020 pour arriver à 305 000 hectares en 2030. Si on exprime ces surfaces en moyenne annuelle, dans GLOBIOM les plantations de palmiers à huile augmentent de 4 000 hectares par an¹⁹ alors que dans le NERF elles augmentent de plus de 23 000 hectares par an, soit plus de cinq fois plus. D'autre part, dans le modèle, seulement un tiers de l'expansion des plantations est établie sur les forêts (voir section 11.2) alors que dans le NERF la totalité de l'expansion des plantations est supposée dans les forêts.

Un autre aspect important est l'expansion des surfaces agricoles pour satisfaire l'augmentation de la demande alimentaire locale. A part pour la production d'huile de palme qui peut également satisfaire la demande locale, le NERF ne prend pas en compte ces besoins-là pour l'ajustement de la déforestation future. Or, d'après nos résultats, en plus des 16 000 hectares par an de déforestation non-planifiée à cause de l'expansion agricole sur 2001–2010, l'augmentation des besoins alimentaires de la population entraîne une augmentation de la déforestation non-planifiée d'environ 4 000 hectares par an sur la période 2011–2020 dans le scénario de Base. L'omission de la déforestation non-planifiée biaise donc de manière importante l'estimation de la déforestation future en République du Congo.

¹⁸ http://redd.unfccc.int/files/2016_submission_frel_republicofcongo.pdf

¹⁹ En 2010, 10 000 hectares de palmiers à huile sont déjà cultivés en République du Congo d'après les résultats du modèle ce qui signifie une expansion des surfaces plantées en palmiers à huile de 5000 hectares dans le scénario Base et de 40 000 hectares seulement dans le scénario Palm+ entre 2010 et 2020.

Des facteurs d'émission par strate ont été utilisés pour le calcul du NERF. Selon cette méthodologie, les facteurs d'émission utilisés pour la déforestation varient entre 92 et 151 tonnes de carbone par hectare selon le type de strate (lié au type de sol). Dans la présente étude, nous avons utilisé différentes cartes de biomasse aérienne disponibles et avons utilisé un ratio de 23 % pour calculer le carbone contenu dans la biomasse souterraine (Section 5.1.1). Bien que ce ratio soit inférieur à celui utilisé dans le NERF, le facteur d'émission moyen pour la déforestation au niveau du Congo est de 139 tC/ha dans le NERF soit plus faible que les facteurs d'émission moyens de cette étude qui varient entre 147 tC/ha et 165 tC/ha selon la carte de biomasse utilisée. Les émissions issues de la déforestation sur la période 2015–2020 sont estimées à 19,6 millions de tCO₂ par an dans le NERF contre 11 millions de tCO₂ par an en moyenne dans l'ensemble de nos scénarios et des cartes de biomasse utilisées (dans un intervalle de 7 à 26 millions de tCO₂ par an sur 2011–2020).

Enfin, la plus grande différence vient des émissions issues de la dégradation forestière. D'après le NERF, les émissions nettes totales liées à l'exploitation forestière sont de 21,6 millions de tonnes équivalent CO₂ par an sur la période 2015–2020 contre 7,2 millions de tonnes équivalent CO₂ par an sur la période 2011–2020 dans nos estimations. La différence d'hypothèse sur les volumes de grumes extraits explique en partie cet écart : 2,5 millions de m³ par an dans le NERF contre 1,5 millions de m³ dans cette étude (Section 8.3). Mais la principale raison est la différence d'hypothèse dans le facteur d'émission : le facteur d'émission utilisé dans le NERF est de 5,2 tCO₂/m³ pour les concessions certifiées et 8,3 tCO₂/m³ pour les concessions non-certifiées tandis que nous utilisons un facteur de 1,06 tC/m³ soit 3,89 tCO₂/m³ pour toutes les concessions (Section 5.1.2). Le problème est que le facteur de dommage qui est utilisé pour l'exploitation à impact réduit, 0,91 tC/m³, est tiré de l'étude de Brown *et al.* (2005). Or, ce facteur correspond au facteur d'émission total de l'exploitation forestière par m³ extrait²⁰. D'après l'étude de Brown *et al.* le facteur d'émissions liés aux dommages est de 0,66 tC/m³. Ainsi, le facteur de dommage de l'exploitation non certifiée utilisé dans le NERF devrait également être inférieur : 1,32 tC/m³ au lieu de 1,82 tC/m³. Le dernier point sur lequel il y a divergence est l'utilisation du facteur d'expansion de la biomasse applicable à l'extraction de bois de feuillus dans le NERF, qui augmente les émissions liées au bois extrait de 1,55 ce qui donne 0,51 tC/m³ au lieu de 0,25 tC/m³ dans nos hypothèses.

11.2 L'agriculture

D'après nos résultats, une augmentation des rendements agricoles est une stratégie « win-win » c'est-à-dire qu'elle permet de répondre à plusieurs objectifs de différente nature en même temps : le développement agricole et la sécurité alimentaire, la lutte contre le réchauffement climatique et la protection de la biodiversité.

Plusieurs articles ont cependant montré qu'une augmentation des rendements agricoles peut en fait s'accompagner d'une augmentation de la déforestation (Byerlee *et al.*, 2014; Hertel *et al.*, 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 GLOBIOM 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

²⁰ Voir le Tableau 3 p. 20 pour la décomposition du facteur d'émissions calculé par l'étude de Brown *et al.* (2005).

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.

L'agriculture provoque la disparition totale de la forêt dans notre modèle. En réalité, le système itinérant sur brûlis qui est encore le plus répandu dans les zones forestières du Congo, garde souvent les arbres de valeur pendant la mise en culture. De plus, deux à trois années de culture sont généralement suivies de plusieurs années de jachères, ce qui permet la régénération de la forêt sur les terres abandonnées (Makana & Thomas, 2006; Russell *et al.*, 2011). La croissance des stocks de carbone est particulièrement rapide pendant les 20 premières années après l'arrêt des cultures. Cela peut se traduire en une séquestration de carbone de 3 à 9 tC par an par hectare selon la fertilité du sol et le temps de jachères (Palm *et al.*, 2000). D'après nos résultats, il pourrait y avoir plus de 900 milliers d'hectares en jachères en 2030 au Congo. Même si certaines zones ont des jachères moins longues et des sols moins fertiles qui peuvent réduire la capacité de régénération des forêts, les jachères agricoles en zone forestière pourraient représenter une séquestration importante de carbone dans le bilan carbone national. La contribution du système agricole traditionnel à la séquestration de carbone dans le Bassin du Congo fera l'objet d'une évaluation plus détaillée dans nos prochains travaux.

Une part importante de l'expansion des palmiers à huile a lieu dans des zones non-forestières dans le modèle. Or, dans la réalité, la plupart des établissements de plantations de palmiers à huile agro-industrielles ont eu lieu dans la forêt historiquement. Une possible explication de ce résultat est le fait que beaucoup de zones forestières qui n'ont pas déjà été allouées pour les concessions forestières ou les aires protégées, bien que bénéficiant de conditions biophysiques plus favorables, elles sont plus difficiles d'accès que certaines zones avec un plus faible potentiel mais plus proches des infrastructures de transport existantes. Dans l'avenir, il est possible que les investisseurs agro-industriels soient prêts à réaliser eux-mêmes des voies d'accès, mais cela représente un coût supplémentaire. Une autre explication est le fait que le rendement des palmiers à huile n'est pas différencié à l'intérieur d'une unité spatiale (~50x50 km). Ainsi, pour les zones de frontière entre forêts et non-forêts, le modèle ne voit pas de différence de potentiel entre ces deux types de végétation alors que dans la réalité il peut y en avoir. Une dernière explication est le fait que les bénéfices liés à la coupe de la forêt lors de l'installation de la plantation agro-industrielle ne sont pas pris en compte alors que les investisseurs prennent souvent cela en compte dans leur calcul de rentabilité de l'investissement. Ces points seront explorés plus en détail dans nos travaux futurs.

11.3 Le contexte socio-économique

Comme l'augmentation des rendements agricoles, une croissance économique et démographique plus faible entraînent une amélioration de tous les indicateurs considérés dans cette étude par rapport au scénario de base. En réalité, l'impact de la croissance économique sur la déforestation est ambigu. D'après la théorie de la transition forestière (Mather, 1992), l'augmentation du PIB s'accompagne dans un premier temps d'une réduction de la forêt mais après un certain niveau de PIB, la forêt augmente de nouveau. Dans ce schéma, l'augmentation de la déforestation peut être causée par les besoins croissants en bois par l'industrie, le développement urbain et l'expansion agricole dans la première phase tandis que le changement de perception des forêts par une population devenue majoritairement urbaine, une agriculture plus intensive et une croissance économique basée sur le secteur tertiaire peuvent expliquer la réduction de la déforestation au cours de la deuxième phase. Mais il n'est pas certain que cette théorie puisse être appliquée au Congo. La croissance économique du Congo est largement dépendante de l'évolution des revenus du pétrole qui représentent près de 70 % du PIB (DSRP, 2012). Certains auteurs ont mis en avant le fait que ce contexte est particulièrement

défavorable au développement de l'agriculture qui est alors fortement concurrencée par les importations à cause d'un taux de change surévalué (Wunder, 2003). De plus, comme la croissance économique repose largement sur un seul secteur d'activité, l'impact de la croissance économique sur les revenus des ménages dans les autres secteurs dépend des mécanismes de redistribution des richesses existants. En supposant une distribution uniforme des fruits de la croissance économique auprès des ménages congolais, il est probable que nos résultats surestiment l'impact d'une plus forte croissance économique sur la demande alimentaire.

La population Congolaise, bien qu'en croissance rapide, est majoritairement urbaine et le sera de plus en plus dans les prochaines années²¹. Ainsi, la croissance de la population dans les campagnes est en partie contrebalancée par les migrations vers les villes où la population a plus facilement accès aux importations. Le taux de chômage est estimé autour de 30 % dans les villes congolaises et touche plus particulièrement les jeunes (DSRP, 2012) mais l'agriculture étant peu rentable et les conditions de vie en milieu rural pouvant être assez rudimentaires, elle n'attire pas les jeunes. Est-ce que cette tendance pourrait être inversée dans les prochaines décennies ? L'amélioration des conditions de vie en milieu rural à travers l'accès à l'éducation, les services de santé ou l'électrification devrait augmenter l'attractivité des zones rurales et favoriser le développement d'activités génératrices de revenus.

11.4 L'exploitation forestière

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 liée au secteur informel et les émissions associées dans cette étude.

Nous avons essayé d'estimer les émissions issues de l'exploitation forestière formelle au Congo sur la base des concessions forestières existantes et de la production de grumes actuelle. D'après nos résultats, les émissions issues de l'exploitation forestière représenteraient 20 % des émissions totales issues des changements d'utilisation des terres et de l'agriculture sur la période 2011–2030 au Congo. La généralisation de l'exploitation à faible impact est encouragée par la République du Congo et les labels de certification. A l'heure actuelle 21 % de la surface sous concessions est certifiée ce qui représente 2.5 millions d'hectares (Bayol *et al.*, 2014). D'après les facteurs d'émission estimés dans la littérature, nous montrons que la généralisation de l'exploitation à faible impact pour toutes les concessions forestières du Congo aurait un impact positif avec 10 millions de tonnes CO₂ évitées sur la période 2011–2030 mais cela ne représente cependant que 2 % des émissions totales sur la période. Nos résultats montrent cependant que les concessions forestières ont un rôle crucial à jouer pour limiter la déforestation future au Congo.

²¹ <http://www.un.org/en/development/desa/population/theme/urbanization/index.shtml>

11.5 L'expansion des aires protégées

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'. Par conséquent, ces scénarios sont susceptibles de représenter l'impact maximal possible d'une expansion de 17 % des aires protégées sur ces indicateurs spécifiques. 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+' 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 d'habitats 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 le scénario '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 au Congo.

11.6 Reforestation à grande échelle

Enfin, d'après nos résultats, le scénario d'afforestation de 1 million d'hectares conduit non pas à une réduction des émissions mais à une augmentation en dépit de la séquestration de carbone réalisée dans les plantations. Cela est dû à un contenu carbone important des terres non-forestières converties en plantations et du type de plantations introduit dans le modèle. En réalité, des travaux importants de zonage sont réalisés pour identifier les zones propices aux plantations pour le PRONAR, ce qui pourrait limiter la conversion des terres plus riches en carbone. De plus, les plantations à courte rotation qui ont été envisagées dans le modèle, ne devraient représenter que 340 000 hectares. En fait, il est prévu de dédier la même surface pour les plantations agro-industrielles. Si celles-ci n'ont probablement pas un contenu carbone supérieur aux plantations d'arbres à courte rotation, elles peuvent néanmoins empêcher une expansion de ces plantations dans les forêts à contenu carbone encore plus élevé. Dans le futur, il serait intéressant d'estimer les impacts précis du PRONAR avec GLOBIOM selon les différentes modalités de mise en œuvre envisagées.

12 Conclusion

Selon des projections modérées, 6 millions de personnes devraient vivre au Congo en 2030, dont 72 % dans les villes et le PIB par tête moyen est multiplié par 2.3 par rapport à 2010. Une population plus nombreuse et plus riche 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 15 000 hectares entre 2000 et 2010 à 25 000 hectares entre 2020 et 2030 causant l'émission de 238 millions de tCO₂ sur la période 2010–2030. Deux tiers de la déforestation observée entre 2010 et 2030 viennent de l'expansion du manioc et de l'arachide et des jachères associées et 6 % de l'expansion du palmier à huile. Le modèle prédit également une déforestation croissante due à l'expansion des pâturages.

La déforestation cumulée sur la période 2010–2030 varie entre 425 000 et 697 000 hectares selon les scénarios contre 449 000 hectares dans le scénario de base. L'amélioration des rendements agricoles, l'expansion des aires protégées et une plus faible croissance de la population et du PIB réduisent la déforestation future. Au contraire, 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. La possibilité d'expansion de l'agriculture dans les concessions forestières existantes est le scénario qui augmente le plus la déforestation future.

La perte d'habitats constitue l'un des moteurs principaux de la perte de biodiversité. La République du Congo abrite deux espèces de Grands Singes, le chimpanzé, et le gorille des plaines occidentales, qui sont fortement dépendantes de la présence de forêts naturelles pour leur habitat. Ce sont aussi des espèces qui présentent un important potentiel pour le développement de l'écotourisme. Le modèle prédit une perte d'habitat pour les grands singes dans la Bouenza, l'Est de la Cuvette et le sud de la Likouala. Outre la perte directe d'habitat, l'expansion des zones agricoles devrait entraîner une augmentation des contacts et par conséquent des conflits entre les singes et les Hommes. Nos résultats soulignent le rôle que les aires protégées peuvent jouer dans la réduction du changement d'utilisation des terres, sur la base de l'hypothèse que les aires protégées sont supposées empêcher tout changement d'affectation des terres. Des études observationnelles montrent que la présence d'aires protégées réduit la conversion des terres, mais que certains changements se produisent tout de même à l'intérieur des aires protégées (Céline et al 2013, Butsic et al 2015), dans une proportion qui varie selon le type et l'efficacité de la gestion (Nelson et Chomitz 2011). Le manque de financement pour les aires protégées en Afrique centrale rend déjà la gestion des aires protégées existantes difficile (Wilkie *et al.*, 2001).

En comparant les résultats de plusieurs scénarios sur la production agricole, les émissions liées aux changements d'usages des sols et les impacts sur la conservation et l'usage durable de la biodiversité, il semble qu'une augmentation de la productivité agricole et une croissance démographique et économique plus faible entraineraient des gains significatifs à la fois pour le développement agricole, l'atténuation du changement climatique et la conservation de la biodiversité. À l'inverse, la combinaison d'une plus forte croissance économique et d'une plus forte croissance de la population entrainerait une dégradation de tous les indicateurs. Pour les autres politiques qui sont testées, on observe la nécessité d'arbitrages afin de réaliser soit un gain pour le développement agricole mais des pertes pour l'environnement tels qu'il est projeté dans les scénarios d'expansion des palmiers à huile ou d'expansion agricole dans les concessions forestières, soit des gains pour le climat et la biodiversité mais des pertes pour le développement agricole, tel qu'il est projeté dans le scénario sur l'expansion des aires protégées.

Afin de minimiser l'impact sur les forêts et de s'assurer de la viabilité d'un programme de plantation extensif sur le long terme, l'Etat devrait identifier au préalable les zones les plus propices au développement des plantations. D'après nos résultats, un objectif de 250 000 hectares de palmiers à huile se traduirait par une augmentation de la déforestation de 140 000 hectares entre 2010 et 2030. De plus, nos résultats montrent que les concessions forestières peuvent être un frein important à la déforestation. Les efforts qui ont été faits pour passer vers une exploitation forestière durable au Congo doivent être poursuivis et aller de pair avec une meilleure valorisation des produits du bois pour assurer la rentabilité de l'exploitation à long terme. De plus, afin que les concessions forestières puissent également participer à la conservation de la biodiversité, la généralisation de pratiques d'exploitation à impact réduit et la lutte contre le braconnage à l'intérieur des concessions forestières pourrait être généralisée, y compris à travers la certification.

La formulation et la mise en œuvre de politiques efficaces permettant de réconcilier développement et protection de l'environnement dans les prochaines décennies au Congo fait face à une contrainte majeure : le manque d'information sur la situation actuelle du pays, notamment dans les zones rurales. Le niveau et les habitudes de consommation alimentaire des habitants dans différentes régions du pays, la localisation des terres qui font l'objet d'une production, les différents modes de production agricole en vigueur, la fertilité des terres, la connectivité des zones de production agricole avec les marchés urbains, sont autant d'aspects qui vont considérablement influencer le niveau de déforestation future au Congo et les leviers d'action de l'Etat. La possibilité de mesurer les progrès réalisés envers l'atteinte de différents objectifs de développement, de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de conservation de la biodiversité, nécessitent la collecte et la centralisation de statistiques de qualité en continu. La disponibilité de données plus précises et actualisées permettrait d'améliorer grandement la précision des résultats de ce type d'exercice de modélisation, afin de pouvoir informer au mieux la décision politique dans des situations complexes d'arbitrages entre différents objectifs.

Références

Alexandratos, N., Bruinsma, J., 2012. World Agriculture towards 2030/2050. The 2012 Revision. ESA-working paper 146–146.

Avitabile, V., Herold, M., Heuvelink, G.B.M., Lewis, S.L., Phillips, O.L., Asner, G.P., Armston, J., Ashton, P.S., Banin, L., Bayol, N., Berry, N.J., Boeckx, P., de Jong, B.H.J., DeVries, B., Girardin, C.A.J., Kearsley, E., Lindsell, J.A., Lopez-Gonzalez, G., Lucas, R., Malhi, Y., Morel, A., Mitchard, E.T.A., Nagy, L., Qie, L., Quinones, M.J., Ryan, C.M., Ferry, S.J.W., Sunderland, T., Laurin, G.V., Gatti, R.C., Valentini, R., Verbeeck, H., Wijaya, A., Willcock, S., 2016. An integrated pan-tropical biomass map using multiple reference datasets. *Glob. Change Biol.* 22, 1406–1420. doi:10.1111/gcb.13139

Baccini, A., Goetz, S.J., Walker, W.S., Laporte, N.T., Sun, M., Sulla-Menashe, D., Hackler, J., Beck, P.S. a., Dubayah, R., Friedl, M. a., Samanta, S., Houghton, R. a., 2012. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nat. Clim. Change* 2, 182–185. doi:10.1038/nclimate1354

Bayol, N., Anquetil, F., Bile, C., Bollen, A., Bousquet, M., Castadot, B., Cerutti, P.O., Kongape, J., Leblanc, M., Lescuyer, G., Meunier, Q., Melet, E., Penelon, A., Robiglio, V., Tsanga, R., 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*. Weyrich, Belgique.

Bodin, B., Ravilious, C., Mant, R., Bastianelli, C., 2014. Les synergies entre la REDD+ et les objectifs d'Aichi pour la biodiversité en Afrique Centrale - L'apport de l'analyse spatiale pour la planification conjointe de deux engagements internationaux sur les forêts. UNEP-WCMC, Cambridge, UK.

Byerlee, D., Stevenson, J., Villoria, N., 2014. Does intensification slow crop land expansion or encourage deforestation? *Glob. Food Secur.* 3, 92–98. doi:10.1016/j.gfs.2014.04.001

Carrere, R., 2010. Oil palm in Africa. World Rainforest Movement, Montevideo.

Durrieu de, M., Bauwens, S., Giraud, A., Hubert, D., Billand, A., 2011. Estimation de l'impact de différents modes d'exploitation forestière sur les stocks de carbone en Afrique centrale. *Bois Forêts Trop.* 75–86.

FAO, 2014. FAOSTAT Gateway.

Hansen, M.C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S.A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S.V., Goetz, S.J., Loveland, T.R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C.O., Townshend, J.R.G., 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* 342, 850–853. doi:10.1126/science.1244693

Hansen, M.C., Stehman, S.V., Potapov, P.V., Loveland, T.R., Townshend, J.R.G., DeFries, R.S., Pittman, K.W., Arunarwati, B., Stolle, F., Steininger, M.K., Carroll, M., DiMiceli, C., 2008. Humid tropical forest clearing from 2000 to 2005 quantified by using multitemporal and multiresolution remotely sensed data. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 105, 9439–9444. doi:10.1073/pnas.0804042105

Harris, N.L., Brown, S., Hagen, S.C., Saatchi, S.S., Petrova, S., Salas, W., Hansen, M.C., Potapov, P.V., Lutsch, A., 2012. Baseline Map of Carbon Emissions from Deforestation in Tropical Regions. *Science* 336, 1573–1576. doi:10.1126/science.1217962

Havlík, P., Schneider, U.A., Schmid, E., Böttcher, H., Fritz, S., Skalský, R., Aoki, K., Cara, S.D., Kindermann, G., Kraxner, F., Leduc, S., McCallum, I., Mosnier, A., Sauer, T., Obersteiner, M., 2011. Global land-use implications of first and second generation biofuel targets. *Energy Policy* 39, 5690–5702. doi:10.1016/j.enpol.2010.03.030

Havlík, P., Valin, H., Herrero, M., Obersteiner, M., Schmid, E., Rufino, M.C., Mosnier, A., Thornton, P.K., Böttcher, H., Conant, R.T., Frank, S., Fritz, S., Fuss, S., Kraxner, F., Notenbaert, A., 2014. Climate change mitigation through livestock system transitions. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 111, 3709–3714. doi:10.1073/pnas.1308044111

Herrero, M., Thornton, P.K., Kruska, R., Reid, R.S., 2008. Systems dynamics and the spatial distribution of methane emissions from African domestic ruminants to 2030. *Agric. Ecosyst. Environ.* 126, 122–137. doi:10.1016/j.agee.2008.01.017

Hertel, T.W., Reimer, J.J., 2005. Predicting the poverty impact of trade reforms. *J. Int. Trade Econ. Dev.* 14, 377–405.

Kindermann, G., McCallum, I., Fritz, S., Obersteiner, M., 2008. A global forest growing stock, biomass and carbon map based on FAO statistics. *Silva Fenn.* 42, 387–396.

Lescuyer, G., Cerutti, P.O., 2013. Politiques de gestion durable des forêts en Afrique Centrale: prendre en compte le secteur informel.

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. *Biodivers. Conserv.* 15, 1375–1397. doi:10.1007/s10531-005-5397-6

Mather, A.S., 1992. The forest transition. *R. Geogr. Soc.* 24, 367–379.

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 Manag.* 8, 10–10. doi:10.1186/1750-0680-8-10

Mosnier, A., Havlík, P., Obersteiner, M., Aoki, K., Schmid, E., Fritz, S., McCallum, I., Leduc, S., 2012. Modeling Impact of Development Trajectories and a Global Agreement on Reducing Emissions from Deforestation on Congo Basin Forests by 2030. *Environ. Resour. Econ.* 1–21. doi:10.1007/s10640-012-9618-7

Mosnier, A., Havlík, P., Valin, H., Baker, J., Murray, B., Feng, S., Obersteiner, M., McCarl, B.A., Rose, S.K., Schneider, U.A., 2013. Alternative U.S. biofuel mandates and global GHG emissions: The role of land use change, crop management and yield growth. *Energy Policy* 57, 602–614. doi:10.1016/j.enpol.2013.02.035

Nellemann, C., Henriksen, R., Raxter, P., Ash, N., Mrema, E., 2014. The Environmental Crime Crises – Threats to Sustainable Development from Illegal Exploitation and Trade in Wildlife and Forest Resources (A UNEP rapid response assessment.). United Nations Environment Programme and GRID-Arendal, Nairobi and Arendal.

Olson, D.M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E.D., Burgess, N.D., Powell, G.V.N., Underwood, E.C., D'Amico, J.A., Itoua, I., Strand, H.E., Morrison, J.C., Loucks, C.J., Allnutt, T.F., Ricketts, T.H., Kura, Y., Lamoreux, J.F., Wettengel, W.W., Hedao, P., 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, 933–938. doi:10.1641/0006-3568(2001)051[0933:TEOTWA]2.0.CO;2

O'Neill, B.C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K.L., Hallegatte, S., Carter, T.R., Mathur, R., Vuuren, D.P. van, 2013. A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Clim. Change* 122, 387–400. doi:10.1007/s10584-013-0905-2

Palm, C.A., Woomer, P.L., Alegre, J., Arevalo, L., Castilla, C., Cordeiro, D.G., Feigl, B., Hairiah, K., Kotto-Same, J., Mendes, A., Moukam, A., Murdiyarso, D., Njomgang, R., Parton, W.J., Ricse, A., Rodrigues, V., Sitompul, S.M., van Noordwijk, M., 2000. Carbon sequestration and trace gas emissions in slash-and-burn and alternative land-uses in the humid tropics (No. Final Report, Phase II), ASB Climate Change Working Group. Nairobi, Kenya.

Pirker, J., Mosnier, A., Kraxner, F., Havlik, P., Obersteiner, M., 2016. What are the limits to oil palm expansion? *Glob. Environ. Change*.

Potapov, P.V., Turubanova, S.A., Hansen, M.C., Adusei, B., Broich, M., Altstatt, A., Mane, L., Justice, C.O., 2012. Quantifying forest cover loss in Democratic Republic of the Congo, 2000–2010, with Landsat ETM + data. *Remote Sens. Environ.* 122, 106–116. doi:10.1016/j.rse.2011.08.027

Rudel, T.K., Schneider, L., Uriarte, M., Turner, B.L., DeFries, R., Lawrence, D., Geoghegan, J., Hecht, S., Ickowitz, A., Lambin, E.F., Birkenholtz, T., Baptista, S., Grau, R., 2009. Agricultural intensification and changes in cultivated areas, 1970–2005. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 106, 20675–20680. doi:10.1073/pnas.0812540106

Ruesch, A., Gibbs, H., 2008. New IPCC Tier-1 Global Biomass Carbon Map for the Year 2000. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory.

Russell, D., Mbile, P., Tchamou, N., 2011. Farm and Forest in Central Africa: Toward an Integrated Rural Development Strategy. *J. Sustain. For.* 30, 111–132. doi:10.1080/10549811003757751

Saatchi, S.S., Harris, N.L., Brown, S., Lefsky, M., Mitchard, E.T.A., Salas, W., Zutta, B.R., Buermann, W., Lewis, S.L., Hagen, S., Petrova, S., White, L., Silman, M., Morel, A., 2011. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 108, 9899–9904. doi: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.

Valin, H., Sands, R.D., van der Mensbrugghe, D., Nelson, G.C., Ahammad, H., Blanc, E., Bodirsky, B., Fujimori, S., Hasegawa, T., Havlik, P., Heyhoe, E., Kyle, P., Mason-D'Croz, D., Paltsev, S., Rolinski, S., Tabeau, A., van Meijl, H., von Lampe, M., Willenbockel, D., 2014. The future of food demand: understanding differences in global economic models. *Agric. Econ.* 45, 51–67. doi:10.1111/agec.12089

Verhegghen, A., Mayaux, P., de Wasseige, C., Defourny, P., 2012. Mapping Congo Basin vegetation types from 300 m and 1 km multi-sensor time series for carbon stocks and forest areas estimation. *Biogeosciences* 9, 5061–5079. doi:10.5194/bg-9-5061-2012

Wunder, S., 2003. Quand le Syndrome Néerlandais rencontre la French Connection : Pétrole, Macroéconomie et Forêts au Gabon. CIFOR.

Annexe

Liste des améliorations effectuées dans GLOBIOM-ROC

Amélioration	Mise en œuvre dans GLOBIOM 2010	Mise en œuvre dans GLOBIOM-ROC 2015
Introduction du domaine forestier permanent	Les aires protégées, les concessions forestières, et les autres forêts du domaine permanent au Cameroun ne peuvent pas être convertis pour d'autres usages.	Mise à jour des concessions forestières et des aires protégées sur la période 2010–2020 en intégrant les données de 2015. Scenarios alternatifs avec conversion possible.
Ajustement des taux de prélèvement dans les forêts gérées	Prise en compte de la concentration des prélèvements sur seulement sur quelques espèces commerciales (coupes sélectives) basée sur une revue de la littérature.	Ajustement des taux de prélèvements par type de forêt (ex : forêt dense humide, forêt sèche,...).
Estimation des émissions liées à la dégradation forestière liée à l'exploitation des forêts sous concessions	Utilisation des facteurs d'émissions de Durrieu de Madron <i>et al.</i> (2010) : 3.41 tCO ₂ /m ³ pour l'exploitation conventionnelle, 3.05 tCO ₂ /m ³ pour l'exploitation sous aménagement, 2.97 tCO ₂ /m ³ pour l'exploitation sous certification.	Pas de changement par rapport à 2010.
Spatialisation de la demande en bois de chauffe et la dégradation forestière liée au bois de chauffe	Demande de bois de chauffe établie par unité de simulation. Introduction d'une nouvelle classe « forêts dégradées » pour la collecte du bois de chauffe.	Demande de bois de chauffe établie au niveau national mais intensité des prélèvements dépend de la densité de population spatialement explicite. Le bois de chauffe peut également venir des jachères agricoles.
Transformation du bois	Coefficient de transformation du bois en sciages pour le Bassin du Congo : 0.38 au lieu de 0.59.	Un plus grand nombre de produits du bois sont pris en compte.
Introduction dans le modèle du café et du cacao pour le Bassin du Congo	Utilisation des cartes SPAM pour allouer le café et le cacao par unité de simulation et pour les estimations de productivité.	Erreurs détectées dans les données SPAM et pas de statistiques disponibles. Le cacao et le café ne sont pas pris en compte.
Calcul et introduction des coûts de transport internes	Collecte des données d'infrastructures de transport courantes et planifiées. Calcul des coûts de transport vers la ville la plus proche > 300 000 habitants ou vers le port le plus proche pour chaque pixel.	Pas de mise à jour des infrastructures planifiées. Les coûts de transport sur la base des infrastructures planifiées sont maintenant intégrés dans tous les scénarios y compris le scénario de base.





REDD^{pac}

www.redd-pac.org

CREDITS

L'équipe REDD-PAC

COMIFAC : Martin Tadoum, Chouaibou Nchoutpouen,
Peguy Tonga, Adeline Makoudjou,
Didier Bokelo Bile, Roland Gyscard Ndinga

IIASA : Aline Mosnier, Michael Obersteiner,
Florian Kraxner, Johannes Pirker,
Géraldine Bocqueho, Petr Havlík

PNUE-WCMC : Rebecca Mant, Blaise Bodin, Andy Arnell,
Valerie Kapos

Institutions

COMIFAC : Commission des Forêts d'Afrique Centrale

IIASA : Institut International pour l'analyse des systèmes
appliqués

UNEP-WCMC: Programme des Nations Unies pour l'environnement
Centre mondial de surveillance de la conservation de la nature

Financement du projet REDD-PAC

Initiative Internationale pour le Climat (IKI), Ministère Allemand
de l'Environnement (BMUB)



Soutenu par :



Ministère fédéral
de l'Environnement, de la Protection de la Nature,
de la Construction et de la Sécurité nucléaire

en vertu d'une décision du
Parlement de la République fédérale d'Allemagne

