



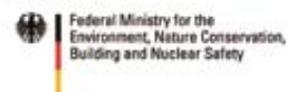
# Modélisation des changements d'utilisation des terres pour la République Démocratique du Congo

# 2000–2030

## Un rapport du projet REDD-PAC



Supported by:



based on a decision of the German Bundestag

## **Institutions partenaires**

IIASA, Laxenburg (Autriche)

UNEP-WCMC, Cambridge (Royaume-Uni)

COMIFAC, Yaoundé (Cameroun)

## **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, Bokelo D, Tonga P, Havlik P, Bocqueho G, Maukonen P, Obersteiner M, Kapos V, Tadoum M (2016) Futures émissions issues de la déforestation et de la dégradation forestière et impacts sur la biodiversité : un modèle économique spatial pour la République Démocratique du Congo. Rapport final du projet REDD-PAC.

## **Remerciements**

Les auteurs remercient les participants aux différents ateliers de présentation de la méthodologie et des résultats du projet REDD-PAC à Douala et à Kinshasa. Un grand merci à Bruno Hugel et Fabien Monteil, Jean-Paul Kibambe, Hassan Assani, Herve Kashongwe, Carlos de Wasseige, Landing Mane et Terry Brncic pour leur aide à différents moments de cette étude.

Copyright © IIASA, COMIFAC, UNEP-WCMC

# Sommaire

<b>RESUME EXECUTIF .....</b>	<b>10</b>
<b>1 INTRODUCTION.....</b>	<b>13</b>
<b>2 ETAT DES LIEUX DE L'INITIATIVE REDD+ EN RDC.....</b>	<b>16</b>
2.1 ETAPES CLE DU PROCESSUS REDD+ EN RDC .....	16
2.2 ETUDE DES MOTEURS DE LA DEFORESTATION.....	18
2.3 PROCESSUS D'ELABORATION DU NIVEAU DE REFERENCE DES EMISSIONS ISSUES DES FORETS .....	19
2.3.1 <i>Principes de la CNUCCC.....</i>	<i>20</i>
2.3.2 <i>Elaboration du niveau de référence au niveau national.....</i>	<i>20</i>
2.3.3 <i>Elaboration du niveau de référence dans la zone pilote du Mai-Ndombe.....</i>	<i>21</i>
<b>3 LE MODELE .....</b>	<b>22</b>
3.1 LE MODELE GLOBIOM.....	22
3.2 LE MODELE CONGOBIOM .....	27
3.3 LE MODELE GLOBIOM-RDC.....	28
3.4 PRINCIPAUX DRIVERS DE LA DEFORESTATION EN RDC ET REPRESENTATION DANS LE MODELE GLOBIOM-RDC.....	31
3.4.1 <i>Les besoins alimentaires .....</i>	<i>32</i>
3.4.2 <i>Les besoins en énergie .....</i>	<i>33</i>
3.4.3 <i>Les besoins en bois d'œuvre.....</i>	<i>35</i>
3.4.4 <i>Les besoins en minerais.....</i>	<i>36</i>
<b>4 LA CARTE D'UTILISATION DES TERRES.....</b>	<b>37</b>
4.1 LES CARTES DE VEGETATION MONDIALES .....	37
4.1.1 <i>GLC 2000.....</i>	<i>37</i>
4.1.2 <i>GlobCover 2005-2006 .....</i>	<i>38</i>
4.1.3 <i>MODIS collection 5.....</i>	<i>38</i>
4.2 LES CARTES DE VEGETATION REGIONALES OU SPECIFIQUES A LA RDC.....	38
4.2.1 <i>UCL 2000.....</i>	<i>38</i>
4.2.2 <i>UCL 2005.....</i>	<i>38</i>
4.2.3 <i>FACET.....</i>	<i>39</i>
4.3 COMPARAISON DES CARTES EXISTANTES POUR LA RDC ET CARTE HYBRIDE .....	39
4.4 HARMONISATION DE LA CARTE DE VEGETATION AVEC LES DIFFERENTS USAGES .....	42
4.4.1 <i>Les concessions forestières et les aires protégées .....</i>	<i>42</i>
4.4.2 <i>Les surfaces cultivées.....</i>	<i>44</i>
4.4.3 <i>Le palmier à huile.....</i>	<i>47</i>
4.4.4 <i>Processus d'allocation spatiale des surfaces agricoles pour 2000.....</i>	<i>48</i>
4.4.5 <i>Elevage.....</i>	<i>49</i>

<b>5</b>	<b>LE CALCUL DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE ET DES IMPACTS SUR LA BIODIVERSITE .....</b>	<b>52</b>
5.1	LE CALCUL DES EMISSIONS .....	52
5.1.1	<i>Les émissions liées au changement d'utilisation des terres .....</i>	<i>52</i>
5.1.2	<i>Les émissions liées à la dégradation de la forêt.....</i>	<i>53</i>
5.1.3	<i>Les émissions liées à l'agriculture .....</i>	<i>54</i>
5.2	LE CALCUL DES IMPACTS SUR LA BIODIVERSITE .....	54
5.2.1	<i>Impact sur les écosystèmes.....</i>	<i>55</i>
5.2.2	<i>Impact sur les espèces .....</i>	<i>56</i>
5.2.3	<i>Impact sur les produits forestiers non-ligneux.....</i>	<i>59</i>
<b>6</b>	<b>DESCRIPTION DES SCENARIOS .....</b>	<b>61</b>
6.1	CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE.....	61
6.2	LE DOMAINE FORESTIER PERMANENT.....	64
6.2.1	<i>Scénarios alternatifs pour les aires protégées .....</i>	<i>64</i>
6.2.2	<i>Les concessions forestières .....</i>	<i>65</i>
6.3	LE DEVELOPPEMENT AGRICOLE .....	66
<b>7</b>	<b>VALIDATION DU MODELE SUR LA PERIODE 2000-2010.....</b>	<b>66</b>
7.1	COMPARAISON DE LA DEFORESTATION HISTORIQUE « OBSERVEE » SELON DIFFERENTES SOURCES AVEC LES ESTIMATIONS DE GLOBIOM .....	67
7.2	EVOLUTION DES SURFACES CULTIVEES ET DE LA PRODUCTION PAR CULTURE .....	68
<b>8</b>	<b>RESULTATS SUR 2010-2030 DANS LE SCENARIO DE BASE .....</b>	<b>70</b>
8.1	DEFORESTATION ET AUTRES CHANGEMENTS D'UTILISATION DES TERRES.....	70
8.2	PRODUCTION ET CONSOMMATION AGRICOLE .....	72
8.3	EXPLOITATION DU BOIS.....	73
8.4	LES EMISSIONS.....	73
8.5	IMPACTS POTENTIELS SUR LA BIODIVERSITE .....	75
<b>9</b>	<b>RESULTATS POUR LES SCENARIOS ALTERNATIFS .....</b>	<b>79</b>
9.1	DEFORESTATION ET AUTRES CHANGEMENTS D'UTILISATION DES TERRES.....	79
9.2	PRODUCTION ET CONSOMMATION AGRICOLE .....	80
9.3	EMISSIONS.....	82
9.4	IMPACTS SUR LA BIODIVERSITE .....	82
<b>10</b>	<b>QUELS FACTEURS PEUVENT RECONCILIER PLUSIEURS OBJECTIFS ? .....</b>	<b>85</b>
10.1	OMD ET ODD .....	85
10.2	ANALYSE MULTI-OBJECTIFS .....	86
<b>11</b>	<b>DISCUSSION DES RESULTATS .....</b>	<b>89</b>
11.1	L'AGRICULTURE .....	89

11.2	LE CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE .....	91
11.3	L'EXPLOITATION FORESTIERE .....	92
11.4	L'EXPANSION DES AIRES PROTEGEES .....	92
<b>12</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>93</b>
	<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>96</b>
	<b>ANNEXES .....</b>	<b>103</b>

## Liste des figures

FIGURE 1 : CARTE DES PROJETS PILOTE REDD+, DE LA ZONES DES INVESTISSEMENTS FIP ET DE LA ZONE PROGRAMME DE REDUCTION DES EMISSIONS DU MAÏ-NDOMBE.....	17
FIGURE 2 APERÇU DU PROCESSUS REDD+ EN RDC – COMMUNICATION DU COORDONNATEUR NATIONAL REDD+ VICTOR KABENGELE A L’ATELIER REDD-PAC DE FEVRIER 2015 A KINSHASA .....	18
FIGURE 3 : LOCALISATION DE LA ZONE MAÏ-NDOMBE COMPRISE DANS L’ER-PROGRAMME EN RDC .....	21
FIGURE 4. LA DEFORESTATION FUTURE DEPEND DES BESOINS FUTURS EN NOURRITURE, EN BOIS ET EN ENERGIE DANS LE MODELE CONGOBIOM .....	24
FIGURE 5: PRINCIPALES DONNEES D’ENTREE ET DE SORTIE DU MODELE GLOBIOM A DIFFERENTES ECHELLES .....	26
FIGURE 6: ELEMENTS UTILISES POUR LA DELIMITATION DES UNITES DE SIMULATION.....	26
FIGURE 7 : LA RDC EST UNE SOUS-REGION DE LA ZONE COMIFAC (DROITE) QUI EST RELIEE AUX 29 AUTRES REGIONS DU MODELE MONDIAL (GAUCHE) .....	28
FIGURE 8. LES DIFFERENTES ECHELLES SPATIALES UTILISEES DANS CETTE ETUDE : LES UNITES DE SIMULATION (A), LA GRILLE 30 DE ARCMIN OU ~50X50KM (B) ET LES PROVINCES ET DISTRICTS (C) EN RDC .....	30
FIGURE 9. LES IMPACTS DES BESOINS ALIMENTAIRES SUR LA DEGRADATION FORESTIERE ET LA DEFORESTATION – .....	32
FIGURE 10. LES IMPACTS DES BESOINS EN ENERGIE SUR LA DEGRADATION FORESTIERE ET LA DEFORESTATION – .....	33
FIGURE 11. CONVERSION DE BOIS DE CHAUFFE ET DE CHARBON EN ENERGIE POUR LA CUISSON .....	35
FIGURE 12. LES IMPACTS DES BESOINS EN BOIS D’ŒUVRE SUR LA DEGRADATION FORESTIERE ET LA DEFORESTATION – .....	35
FIGURE 13. LES IMPACTS DES BESOINS EN MINERAIS SUR LA DEGRADATION FORESTIERE ET LA DEFORESTATION – .....	37
FIGURE 14. LOCALISATION DES TERRES ARABLES EN RDC SELON DIFFERENTES SOURCES.....	40
FIGURE 15. REPARTITION DES TERRES ARABLES PAR DEPARTEMENT SELON DIFFERENTES CARTES DE VEGETATION .....	40
FIGURE 16. REPARTITION PAR TYPE DE FORET SELON DIFFERENTES SOURCES .....	41
FIGURE 17. REPARTITION DES SURFACES FORESTIERES PAR PROVINCE SELON DIFFERENTES CARTES DE VEGETATION .....	41
FIGURE 18. LES CONCESSIONS FORESTIERES ET LES AIRES PROTEGEES REPERTORIEES PAR WRI .....	42
FIGURE 19. PROCEDURE D’AJUSTEMENT DES AIRES PROTEGEES S’IL Y A CHEVAUCHEMENT DES USAGES .....	43
FIGURE 20 : RENDEMENTS MOYENS PAR PROVINCE D’APRES LES MONOGRAPHIES PROVINCIALES DU PNSAR ET MOYENNE NATIONALE D’APRES LA FAO.....	45
FIGURE 21 : SURFACES AGRICOLES ESTIMEES POUR 2000 SUR LA BASE DES STATISTIQUES AGRICOLES ET D’APRES LA FAO.....	45
FIGURE 22 COEFFICIENT MULTIPLICATEUR DES TERRES CULTIVEES POUR PRENDRE EN COMPTE LES DIFFERENTS TEMPS DE JACHERE (EXEMPLE DU MANIOC).....	46
FIGURE 23. CARTE DE POTENTIEL BIOPHYSIQUE DU PALMIER A HUILE EN REPUBLIQUE DU CONGO (DE VERT = TRES FORT POTENTIEL A ROUGE = FAIBLE POTENTIEL ET GRIS = NON PROPICE) D’APRES PIRKER ET MOSNIER (2015).....	48

FIGURE 24. SURFACES EN TERRES ARABLES EN 2000 PAR UNITE DE SIMULATION (EN MILLIERS D’HECTARES) .....	49
FIGURE 25. COMPARAISON DE LA REPARTITION DES EFFECTIFS DE BOVINS ET CAPRINS ENTRE DEPARTEMENTS ...	50
FIGURE 26 SURFACES EN PATURAGES EN 2000 PAR UNITE DE SIMULATION (EN MILLIERS D’HECTARES).....	51
FIGURE 27 CARTE DES ECOREGIONS DE LA RDC.....	56
FIGURE 28 METHODE DE CALCUL POUR L’INDICE COMPOSITE DE CHANGEMENT COMBINE DE L’HABITAT POUR LES ESPECES .....	58
FIGURE 29 OCCURRENCE ET PROBABILITÉ DE DISTRIBUTION DE <i>PRUNUS AFRICANA</i> DANS LE BASSIN DU CONGO .	60
FIGURE 30 LES HYPOTHESES DU SCENARIO DE BASE SONT PRESENTEES A GAUCHE TANDIS QUE LES CHANGEMENTS INTRODUITS DANS CHAQUE SCENARIO SONT DECRITS A DROITE (UN SCENARIO PAR BOITE BLANCHE) .....	61
FIGURE 31 TRAJECTOIRES DEVELOPPEMENT SOCIO-ECONOMIQUES ELABOREES DANS LE CADRE DU GIEC (O’NEILL ET AL., 2013).....	62
FIGURE 32 HYPOTHESES DE CHANGEMENT DE CROISSANCE DU PIB, DE CROISSANCE DE LA POPULATION ET DE CROISSANCE DU PIB PAR TETE DANS LES SSP1 ET SSP3 PAR RAPPORT AU SSP2 ET PAR CONSTRUCTION POUR LES SCENARIOS MACRO+ ET MACRO- POUR LA RDC .....	63
FIGURE 33. EVOLUTION DE LA STRUCTURE DE LA CONSOMMATION ALIMENTAIRE EN RDC PAR GROUPE DE PRODUITS DANS LE SCENARIO DE BASE (A GAUCHE) ET CHANGEMENT DE LA CONSOMMATION DE CALORIES PAR PRODUIT ALIMENTAIRE PAR HABITANT EN 2030 PAR RAPPORT A 2000 EN RDC POUR DIFFERENTS SSPs (A DROITE).....	64
FIGURE 34 COMPARAISON DE LA DEFORESTATION HISTORIQUE MOYENNE PAR PROVINCE ENTRE 2000 ET 2010 AVEC CELLE CALCULEE PAR GLOBIOM .....	67
FIGURE 35. EVOLUTION DES SURFACES RECOLTEES EN RDC ENTRE 2000 ET 2010 D’APRES LA FAO .....	69
FIGURE 36 CAUSES DE LA DEFORESTATION CALCULEE ENTRE 2000 ET 2010 PAR PROVINCE ET AU NIVEAU NATIONAL SELON LES RESULTATS DU MODELE .....	69
FIGURE 37 GAINS ET PERTES NETS DE SURFACES POUR CHAQUE TYPE DE VEGETATION POUR CHAQUE PERIODE DE SIMULATION (PERIODE DE 10 ANS) EN MILLIERS D’HECTARES .....	70
FIGURE 38 PROJECTIONS DE LA DEFORESTATION PAR CAUSE EN RDC POUR CHAQUE PERIODE DE SIMULATION DANS LE SCENARIO DE BASE .....	71
FIGURE 39 DECOMPOSITION DE LA DEFORESTATION CALCULEE ENTRE 2011 ET 2030 PAR CAUSE POUR CHAQUE PROVINCE.....	72
FIGURE 40 EVOLUTION DE LA PRODUCTION LOCALE ET D’IMPORTATIONS DE CALORIES D’ORIGINE VEGETALE PAR HABITANT PAR AN.....	73
FIGURE 41 EMISSIONS ISSUES DE LA DEFORESTATION TOTALE PROJETEE POUR LA REPUBLIQUE DU CONGO ENTRE 2011 ET 2030 EN UTILISANT DIFFERENTES CARTES DE BIOMASSE .....	74
FIGURE 42 EMISSIONS PAR SOURCE PAR PERIODE DE 10 ANS ET CUMULEES SUR LA PERIODE 2011-2030 EN RDC .	75
FIGURE 43 VARIATION TOTALE DE L’UTILISATION DES TERRES SUR LA PERIODE 2011-2030 DANS LES ECOREGIONS DE LA RDC.....	76
FIGURE 44 MODELISATION DE L’IMPACT DE LA DEFORESTATION SUR L’HABITAT POTENTIEL POUR LES GRANDS SINGES PAR UNITE DE SIMULATION (CARTES DE GAUCHE EN MILLIERS D’HECTARES).....	77
FIGURE 45 CARTE DE L’IMPACT COMBINE DE LA PERTE D’HABITAT DES ESPECES DE 2010 A 2030 POUR L’ENSEMBLE DES ESPECES, PONDEREE PAR L’ENDEMISME RELATIF DE CHAQUE ESPECE. ....	78

FIGURE 46 DEFORESTATION TOTALE CUMULEE SUR LA PERIODE 2011-2030 SELON DIFFERENTS SCENARIOS : LES SCENARIOS EN VERT REDUISENT LA DEFORESTATION FUTURE PAR RAPPORT AU SCENARIO DE BASE TANDIS QUE LES SCENARIOS EN ROUGE AUGMENTENT LA DEFORESTATION FUTURE .....	79
FIGURE 47 CONVERSION OU EXPANSION DES DIFFERENTS TYPES D'OCCUPATION DES SOLS SUR LA PERIODE 2011-2030 POUR CHAQUE SCENARIO. COMME LA SURFACE DE TERRE TOTALE EST FIXE, LA SOMME DE CES CHANGEMENTS EST EGALE A ZERO POUR CHAQUE PERIODE. ....	80
FIGURE 48 IMPACT DES DIFFERENTS SCENARIOS SUR LA PRODUCTION, LES IMPORTATIONS ET LA CONSOMMATION MOYENNE DE CALORIE D'ORIGINE VEGETALE PAR HABITANT EN 2030.....	81
FIGURE 49 VARIATION DES EMISSIONS ISSUES DE LA DEFORESTATION SUR LA PERIODE 2011-2030 SELON LE SCENARIO ET LA CARTE DE BIOMASSE UTILISEE .....	82
FIGURE 50 IMPACT DES DIFFERENTS SCENARIOS SUR LA PERTE D'HABITAT POTENTIEL POUR LES GRANDS SINGES 2030. ....	83
FIGURE 51 NOMBRE D'ESPECES L'HABITAT POTENTIEL EST CONVERTI A D'AUTRES USAGES SUR LA PERIODE 2010-2030 .....	84
FIGURE 52 L'IMPACT DE DIFFERENTS SCENARIOS SUR L'AIRE DE REPARTITION POSSIBLE ET PROBABLE DU PRUNUS EN POURCENTAGE DE LA SURFACE QUI EST TOUCHE PAR LA DEFORESTATION. ....	85

## Liste des tableaux

TABLEAU 1. COMPARAISON DE LA SUPERFICIE TOTALE INITIALE ET INTEGREE DANS LE MODELE POUR LES FORETS EXPLOITEES ET LES AIRES PROTEGEES EN RDC (EN MILLIONS D’HECTARES) .....	43
TABLEAU 2 FACTEUR D’EMISSION TOTAL ET PAR TYPE D’IMPACT POUR DIFFERENTS TYPES D’EXPLOITATION FORESTIERE .....	54
TABLEAU 3 TAUX DE CROISSANCE DES RENDEMENTS AGRICOLES DANS LE SCENARIO RDMT+ .....	66
TABLEAU 4. EVOLUTION DES FACTEURS D’EMISSION POUR LA DEFORESTATION SELON LA CARTE DE BIOMASSE UTILISEE.....	74
TABLEAU 5. COMPARAISON DES SCENARIOS SUR LEUR CONTRIBUTION A PLUSIEURS OBJECTIFS (LA COULEUR VERTE INDIQUE UN RAPPROCHEMENT VERS LA REALISATION D’UN OBJECTIF TANDIS QUE LA COULEUR ROUGE SIGNIFIE UN ELOIGNEMENT DE L’OBJECTIF) .....	87

## 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.

La République Démocratique du Congo (RDC) est le pays le plus vaste et le plus peuplé d'Afrique Centrale. Les forêts denses humides couvrent 155 millions d'hectares soit près des deux tiers du territoire. Selon les prévisions des Nations Unies, la RDC deviendra le dixième pays le plus peuplé du monde à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle avec plus de 200 millions d'habitants. Des efforts considérables seront nécessaires pour améliorer les conditions de vie de la population sans épuiser les vastes ressources naturelles du pays. La RDC a été le premier pays africain à soumettre son plan de préparation pour la Réduction des Émissions dues à la Déforestation et la Dégradation des forêts, la conservation et l'augmentation des stocks de carbone des forêts et la gestion durable des forêts (REDD+) en 2009.

Cette étude, en essayant 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 et de risque de perte de biodiversité, a pour objectif 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 RDC.

Les modèles permettent d'explorer dans un cadre simplifié les conséquences de changements futurs. Le projet « Centre d'Évaluation des politiques REDD+ » (REDD-PAC pour « REDD+ Policy Assessment Center) a adapté le modèle GLOBIOM 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 de simulation est 2000-2030, la première période 2000-2010 permettant de tester la capacité du modèle à reproduire les tendances passées.

La déforestation est modélisée à partir des changements de production et de consommation et pour tous les pays en même temps. Ainsi, on peut plus facilement vérifier la validité et la cohérence des estimations et éviter une surestimation de la déforestation future dans les niveaux de référence, sans relation avec l'évolution de la demande. La spatialisation des résultats assure la cohérence de la déforestation calculée au niveau sous-national avec la déforestation totale au niveau national et permet de prendre en compte l'hétérogénéité des terres en carbone et en biodiversité.

Le modèle national couvre la RDC qui fait partie de la sous-région Commission des Forêts d'Afrique Centrale (COMIFAC). La RDC peut commercer avec les autres régions de la COMIFAC, le Cameroun, le Congo, l'Ouest (Gabon et Guinée Equatoriale), le Nord (Tchad et République Centrafricaine) et l'Est (Rwanda et Burundi), et commercer avec les autres régions du monde. Les changements d'utilisation des terres et la production agricole sont représentés dans 1190 unités spatiales.

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 l'absence de collecte récente de données pose des problèmes de fiabilité des statistiques agricoles pour la RDC. Une carte hybride a été réalisée en combinant les meilleures cartes de végétation existantes et les statistiques agricoles disponibles après consultation avec les experts nationaux.

Selon des projections modérées, près de 105 millions de personnes devraient vivre en RDC en 2030, dont la moitié dans les villes et le PIB par tête moyen devrait presque tripler 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 de 374 000 hectares entre 2010 et 2020 à 643 000 hectares entre 2020 et 2030 causant l'émission de 7.2 gigatonnes de CO<sub>2</sub>. 60% de la déforestation est provoquée par l'augmentation des surfaces cultivées en manioc et des jachères associées et 15 % par l'expansion du palmier à huile. La RDC augmente également ses importations sur la période et 20% de l'expansion des terres agricoles a lieu dans d'autres types de végétation que la forêt. Ces deux derniers facteurs réduisent l'impact de l'augmentation de la demande locale sur les forêts mais peuvent aussi entraîner d'autres problèmes.

La RDC abrite quatre espèces de Grands Singes, le chimpanzé (*Pan troglodytes*), le bonobo (*Pan paniscus*), le gorille de montagne (*Gorilla beringei*) et le gorille des plaines occidentales ou Gorille des plaines de l'Ouest (*Gorilla gorilla gorilla*), 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 particulièrement importante pour les grands singes dans l'Est du pays. Outre la perte directe d'habitat, l'expansion des zones agricoles devrait entraîner une augmentation des contacts hommes-faune et par conséquent des risques de braconnage.

La déforestation cumulée entre 2010 et 2030 varie entre 8 et 13 millions d'hectares dans les scénarios testés contre 11 millions d'hectares dans le scénario de base. L'amélioration des rendements agricoles, l'augmentation des aires protégées et une plus faible croissance de la population et du PIB pourraient réduire la déforestation sur la période 2010-2030 tandis que l'expansion de l'agriculture non contrôlée dans les aires protégées ou les concessions forestières,

et une plus forte augmentation de la population et du PIB augmentent la déforestation par rapport au scénario de base.

L'augmentation de la productivité agricole pourrait réconcilier les objectifs de sécurité alimentaire, d'atténuation du changement climatique et de conservation de la biodiversité. A l'inverse, la combinaison d'une plus forte croissance économique et d'une plus forte croissance de la population entraîne une détérioration de tous les objectifs. Pour les autres politiques qui sont testées, on observe des arbitrages entre différents objectifs. Le non-respect du domaine forestier permanent ou le non-respect des aires protégées entraînent des gains pour le développement agricole mais une augmentation des émissions et une perte de biodiversité. L'expansion des aires protégées réduit la déforestation mais augmente les émissions. Ceci montre que selon la location et les critères utilisés pour créer de nouvelles aires protégées, il peut y avoir un risque de « déplacement » des pressions anthropiques vers des forêts non protégées et riches en carbone lorsque l'on renforce la protection d'autres terres riches en biodiversité mais moins riches en carbone.

Les résultats de cette analyse par modélisation du changement d'usage des terres indiquent que sur la période 2010-2030 la déforestation future en RDC pourrait causer l'émission de 7 gigatonnes de CO<sub>2</sub> et une perte de plus de 10% de l'aire d'habitat potentiel de 300 espèces, dont 42 espèces menacées.

En comparant les résultats de plusieurs scénarios sur la production agricole, les émissions liées aux changements d'usages des terres et les impacts sur la conservation et l'usage durable de la biodiversité, une plus faible croissance de la population et une augmentation des rendements agricoles pourraient aider à réconcilier la poursuite de différents objectifs dans les pays d'Afrique Centrale. Il semble cependant difficile de mettre en œuvre des politiques d'intensification agricole efficaces avec le peu d'informations qui est actuellement disponible sur l'agriculture en RDC. Il est important d'investir dans un système de collecte et de mise à jour régulière des statistiques sur la population et l'agriculture en RDC afin de permettre un bon diagnostic des barrières actuelles à l'intensification.

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

Enfin, les résultats de cette étude montrent l'importance d'une gestion effective des aires protégées pour la protection des espèces, et leur contribution à la prévention de l'extinction des espèces qui est un des objectifs internationaux du Plan Stratégique pour la Biodiversité 2011-2020. Alors que

les aires protégées existantes manquent de moyens, ces résultats confirment l'importance d'un soutien financier et technique pour une gestion effective des aires protégées.

## 1 Introduction

Les émissions liées à la conversion des forêts tropicales sont estimées à près de 1 gigatonne<sup>1</sup> 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, Amougou et Hamel, 2008).

La République Démocratique du Congo (RDC) est le pays le plus peuplé d'Afrique Centrale avec 75 millions d'habitants et le onzième pays le plus vaste au monde avec un territoire de plus de 235

---

<sup>1</sup> 1 gigatonne (Gt) = 1 Pentagramme = 1 milliard de tonnes de carbone.

millions d'hectares (Wikipedia). La population est très jeune, avec 50% des habitants ayant 16 ans ou moins (Enquête 1-2-3, 2014). Selon les prévisions des Nations Unies, la RDC deviendra le dixième pays le plus peuplé du monde à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle avec plus de 200 millions d'habitants (UN Population program). Les forêts denses humides couvrent 155 millions d'hectares soit près des deux tiers du territoire (FACET, OSFAC). L'économie est dominée par l'industrie extractive -minerais et pétrole- et l'agriculture. Plus de 70% de la population travaille dans le secteur agricole et un quart dans le commerce et les services mais 89% des emplois sont dans le secteur informel (Enquête 1-2-3, 2014). La pauvreté diminue mais reste tout de même à un niveau élevé avec 65% des ruraux qui vivent avec moins de 1,6 US dollar par jour et 60% des urbains vivant avec moins de 2,3 US dollar par jour (Enquête 1-2-3, 2014).

Des efforts considérables seront donc nécessaires pour améliorer les conditions de vie de la population sans épuiser les vastes ressources naturelles du pays. La RDC a été un des pays les plus actifs lors du lancement de l'initiative REDD+ ce qui s'est traduit par la soumission du plan de préparation pour la Réduction des Émissions dues à la Déforestation et la Dégradation des forêts, la conservation et l'augmentation des stocks de carbone des forêts et la gestion durable des forêts (REDD+) en 2009. La RDC a donc été un pays pionnier de REDD+.

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 gaz à effet de serre mais ils entraînent également la perte ou la fragmentation des habitats naturels pour différentes espèces. La RDC 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 RDC doit bientôt soumettre ses SPANBs révisées qui intègrent les Objectifs du Plan Stratégique d'Aichi pour la biodiversité. Le Plan de Convergence de la COMIFAC<sup>2</sup>, dont la RDC fait partie, promeut également l'adoption de politiques de gestion durable des forêts dans la sous-région.

La REDD+ présente de nombreuses opportunités de bénéfices 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 bénéfices et risques potentiels de la REDD+ ont été reconnus par la CCNUCC à travers sept garanties adoptées lors de la Conférence des Parties de Cancun en 2010, que les pays doivent promouvoir dans leur mise en œuvre de la REDD+.

---

<sup>2</sup> Le Plan de Convergence de la COMIFAC a été révisé en 2014.

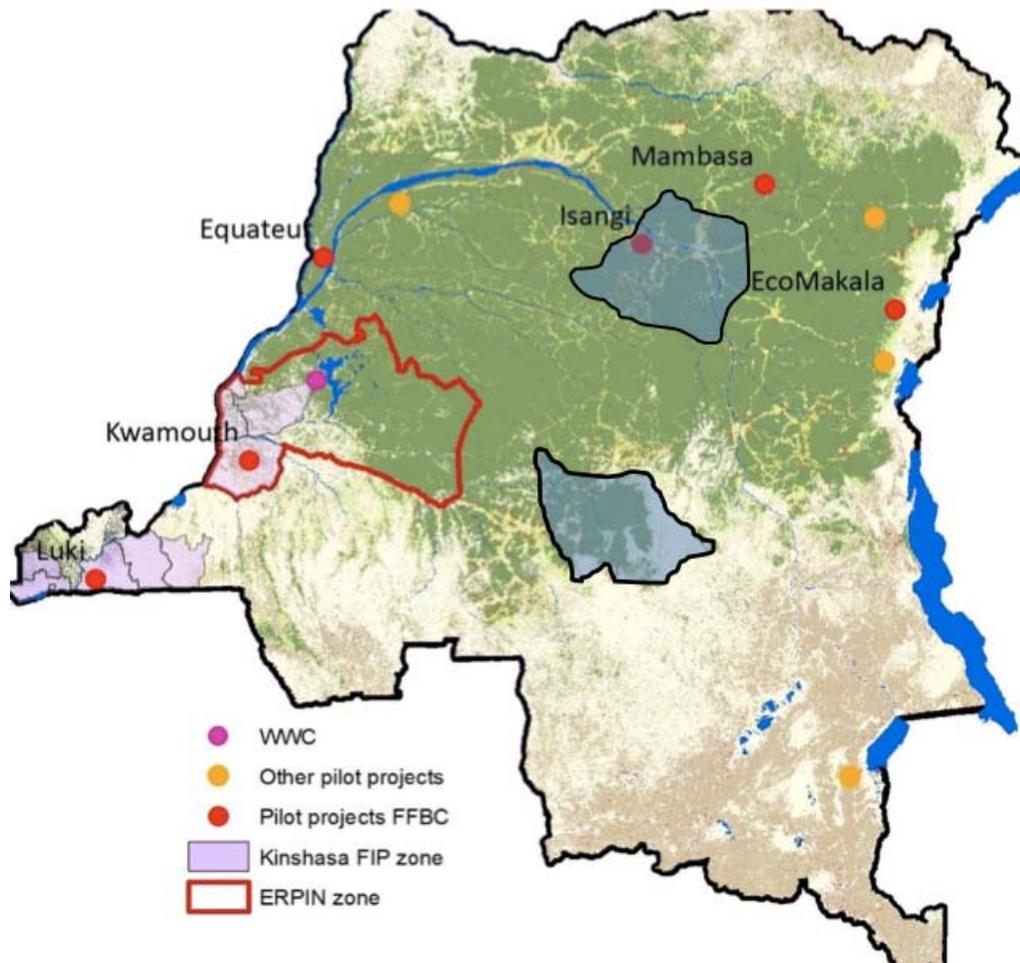
Le projet REDD-PAC (« REDD+ Policy Assessment Center » ou « Centre d’Evaluation des politiques REDD+ » en français) vise à apporter des éléments de compréhension concernant les facteurs de changement du couvert forestier et de la biodiversité dans les prochaines décennies dans le Bassin du Congo et au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

### 2.1 Etapes clé du processus REDD+ en RDC

- **Janvier 2009:** La RDC obtient \$0.2 millions du FCPF (Forest Carbon Partnership Facility) et \$1.8 millions du programme REDD+ des Nations Unies (UN-REDD) pour soutenir le processus REDD+ en RDC.
- **Mai 2009:** Les structures de gouvernance du processus REDD+ en RDC –un comité national, un comité interministériel et une coordination nationale- sont créées par décret du premier ministre.
- **Mars 2010:** La RDC est le premier pays africain à avoir son Plan d préparation à la REDD+ (R-PP) approuvé et un financement additionnel de \$3,4 millions du FCPF et de \$5,5 millions du programme UN-REDD devront permettre la mise en œuvre du R-PP de du FCPF.
- **Juin 2011:** La RDC est le premier pays africain à avoir son Plan d’Investissement pour la REDD+ approuvé par le FIP (Forest Investment Program). \$60 millions sont prévus afin financer des projets d’investissement en lien avec REDD+ avec le soutien de la Banque Mondiale et la Banque Africaine de Développement.
- **Novembre 2011:** Le financement de sept projets pilote REDD+ est approuvé par le Fond Carbone pour le Bassin du Congo (Figure 1). Ces projets comportent généralement un volet de protection des forêts pour réduire la déforestation anticipée, des plantations intégrées avec l’agriculture traditionnelle (agroforesterie), ou encore la distribution de foyers améliorés afin de réduire l’utilisation du bois de chauffe.
- **Décembre 2012:** Un système national de suivi des forêts et un fonds national REDD+ sont mis en place afin de développer les standards nationaux REDD+ et d’avoir une stratégie nationale cadre REDD+. Un renforcement des capacités de la Direction de l’Aménagement

Forestier de la RDC (DIAF) en analyse et traitement des données satellite a été effectué par la FAO afin d'assurer la continuité du système national de suivi des forêts.



Source : CN-REDD RDC

Figure 1 : Carte des projets pilote REDD+, de la zones des investissements FIP et de la zone programme de réduction des émissions du Maï-Ndombe

Les années 2013 et 2014 ont constitué une période charnière pour le processus REDD+ en RDC. Suite à l'évaluation indépendante du processus à mi-parcours effectuée en 2012, la coordination nationale est restructurée. Des points focaux avaient été recrutés pour chacune des onze provinces. Face au coût important de ce déploiement, il a été convenu de recentrer les investissements dans 5 provinces seulement et de créer des synergies entre l'approche FLEGT pour la lutte contre l'exploitation illégale du bois et le processus REDD+ en RDC. Le principal objectif de cette phase étant de clôturer la phase de préparation et de mobiliser les financements pour la phase d'investissement (Figure 2).

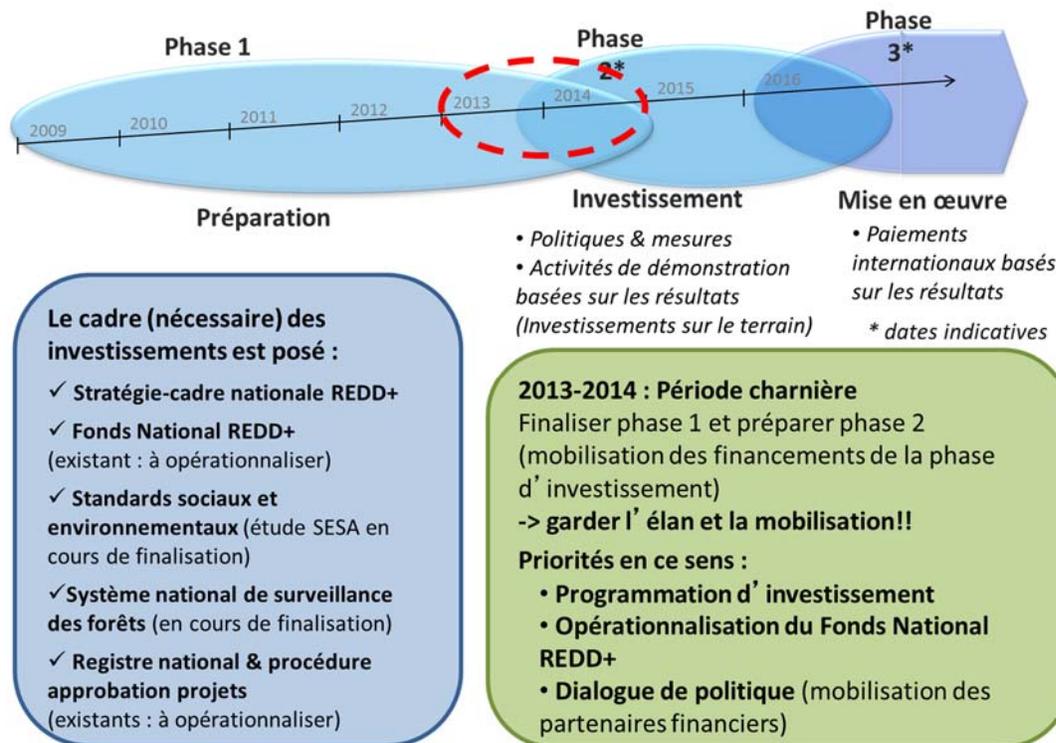


Figure 2 Aperçu du processus REDD+ en RDC – Communication du Coordonnateur National REDD+ Victor Kabengele à l’atelier REDD-PAC de Février 2015 à Kinshasa

- **Janvier 2015 :** Validation des instruments de sauvegardes environnementales et sociales REDD+ (CGES) par la Banque Mondiale et validation nationale fin 2015.
- **Mai 2015 :** Rapport final d’auto-évaluation du R-Package de la RDC approuvé par le Comité des Participants FCPF.
- **Juin 2015 :** L’ERPIN du Maï-Ndombe est finalement validé.
- **Janvier 2016 :** Re-soumission du document du programme de réduction des émissions pour le Maï-Ndombe au FCPF en janvier 2016.

## 2.2 Etude des moteurs de la déforestation

Suite à la finalisation du plan de préparation à la REDD+ (R-PP), plusieurs études ont été réalisées en 2010 et 2011 afin de mieux connaître les causes de la déforestation en RDC. Une première étude qualitative a été conduite par le PNUE dans le cadre de l’évaluation environnementale post-conflit (UNEP, 2011). Une deuxième étude qualitative a été conduite par la société civile. Les données ont été collectées dans 32 sites dans 18 districts au sein de 10 provinces de la RDC (le Katanga a été exclu) lors d’interviews semi-structurées pour l’étude de l’UNEP. Les principales causes directes qui sont reportées par ces études sont l’agriculture itinérante sur brûlis et l’exploitation du bois pour la production de charbon. Dans certaines régions, l’exploitation artisanale du bois d’œuvre et l’exploitation minière peuvent également être des causes importantes

de la déforestation et de la dégradation forestière (cas de l'Ituri et du Kasai par exemple). Les causes indirectes qui sont mentionnées sont les aspects économiques liés à la pauvreté et au chômage des jeunes, les aspects institutionnels avec les guerres successives au cours des dernières décennies et la mauvaise gouvernance, et la construction d'infrastructures.

L'étude quantitative a été menée par l'Université Catholique de Louvain (Defourny, Delhage, & Kibambe Lubamba, 2011) dans le cadre du programme UN-REDD. Les auteurs utilisent les estimations de déforestation et de dégradation qui ont été faites dans le cadre de l'Observatoire des Forêts d'Afrique centrale (Ernst et al., 2013). Ils ont d'abord procédé par une analyse statistique univariée pour identifier et quantifier l'influence des différentes variables spatiales expliquant les changements du couvert forestier pour la période 1990-2000-2005. Ensuite, une méthode statistique d'analyse multivariée a permis d'établir les modèles explicatifs combinant l'ensemble des informations disponibles. Les analyses ont été réalisées à deux niveaux : à l'échelle nationale et à l'échelle sous nationale afin de mettre en évidence des spécificités locales. Ils trouvent que ce sont les 5 mêmes variables qui sont les plus corrélées à la déforestation à la fois pour 1990-2000 et 2000-2005 : la superficie du complexe rural<sup>3</sup>, l'augmentation de la population, la superficie de forêts dégradées, la fragmentation de la forêt et l'importance du réseau routier. Mais c'est avant tout l'importance de la population qui détermine la quantité de forêts affectées par la déforestation et la dégradation<sup>4</sup>.

La stratégie cadre nationale REDD+ (2012) observe cependant que le contexte historique 1990-2010 est marqué par une « contraction du secteur formel et de basculement de l'économie congolaise vers l'exploitation artisanale de ses ressources minières ». Compte tenu de l'amélioration du contexte politique, les facteurs internationaux liés à la globalisation des marchés et à l'intégration économique régionale comme par exemple l'évolution du cours des matières premières ou les politiques tarifaires sont susceptibles de jouer un rôle croissant.

### **2.3 Processus d'élaboration du niveau de référence des émissions issues des forêts**

---

<sup>3</sup> « Le complexe rural est une mosaïque de jachères forestières, de jardins de case, de cultures vivrières (manioc, maïs, arachide, bananes,...) et de plantations villageoises. Cette occupation du sol correspond aux zones à forte activité anthropique. » (p11)

<sup>4</sup> On remarque ici que le dernier recensement de la population a été effectué en 1984 en RDC. Les cartes de population utilisées par les auteurs ont donc été créées sur la base de plusieurs hypothèses : les taux de croissance de la population par province ont été utilisés (de Saint Moulin, 2006) et appliqués à la densité de population de 2005 calculée par Kibambe et Defourny.

### 2.3.1 Principes de la CCNUCC

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 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). 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.
- Le NRF devrait maintenir la **cohérence avec les inventaires nationaux de GES**, notamment sur la définition de la forêt utilisée.
- Le NRF doit fournir une **information transparente, complète, cohérente et précise** sur les données utilisées et le raisonnement qui a conduit au développement du NRF.
- Une **approche par étapes** et l'utilisation de NRFs sous-nationaux à titre provisoire est possible (CCNUCC, décision 12/CP.17). Cette dernière disposition permet aux pays d'améliorer leur 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.

### 2.3.2 Elaboration du niveau de référence au niveau national

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 RDC devrait être calculé sur la base d'un scénario de référence historique ajusté. 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.

Dans la stratégie cadre nationale REDD de la RDC (2012), il est mentionné que la RDC préfère une approche « top-down » ajustée avec un niveau de référence national ensuite décliné au niveau provincial et local en suivant un processus itératif d'ajustements avec des initiatives régionales pilotes comme le Maï-Ndombe, les bassins d'investissement du FIP, les projets pilotes intégrés REDD+. Un niveau de référence national préliminaire avait été présenté en utilisant les résultats de quatre approches différentes : i) sur la base du taux de déforestation historique, ii) en utilisant les variables explicatives et de la cartographie des risques de l'UCL et en appliquant des scénarii de futurs possibles, iii) une prévision de la déforestation sur la base du modèle Congo21 su Millenium Institute et iv) une prévision de la déforestation sur la base du modèle GLOBIOM que

nous utilisons également dans cette étude. Deux différents scénarios ont été testés : « poursuite et amélioration » et « croissance optimiste ».

Le niveau de référence national préliminaire a alors été obtenu en enlevant les 4 scénarii les plus extrêmes et en faisant une moyenne des 8 scénarii restant. Selon un scénario business as usual, le niveau de référence ainsi obtenu était une diminution de la surface forestière de 15 millions d'hectares entre 2010 et 2035 correspondant à l'émission de 5,5 Gt de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Cela représente un taux moyen de déforestation annuel de 0.41%. Parmi les limites de cette estimation, la dégradation forestière n'était pas prise en compte et les émissions avaient été calculées en utilisant une valeur moyenne de 100 tC/ha.

### 2.3.3 Elaboration du niveau de référence dans la zone pilote du Mai-Ndombe

L'ER-Programme du Mai-Ndombe est localisé dans l'ancienne province du Bandundu, au Nord-Est de Kinshasa, et couvrant deux anciens districts : Mai-Ndombe et Plateaux (Figure 3). Cet espace représente maintenant une province à part entière, la province du Mai-Ndombe. Cela représente une surface de 12,3 millions d'hectares dont les deux-tiers sont des forêts. Cette région est caractérisée par des larges plateaux de savanes boisées et de forêt-galerie à l'Ouest et des forêts denses humides et des forêts inondées à l'Est. Parmi les espèces emblématiques présentes dans la zone, on peut mentionner le bonobo, le chimpanzé, l'éléphant et le léopard. La population est de 8 millions environ (ER-PIN 2014). Il est précisé que le programme est mis en œuvre dans une perspective de long-terme jusqu'à l'horizon 2050.



Figure 3 : Localisation de la zone Mai-Ndombe comprise dans l'ER-Programme en RDC

Dans le cadre de la rédaction de l'ER-Programme du Mai-Ndombe qui a été soumis au FCPF, un niveau de référence des émissions et les réductions d'émissions envisagées ont dû être calculés. En effet, c'est sur cette base-là que les paiements peuvent être justifiés. La méthodologie qui a été adoptée pour l'élaboration du niveau de référence des émissions issues de la déforestation et de la dégradation est une approche stratifiée où on définit dans un premier temps les types de couverture

végétale considérés, ensuite les types d'utilisation par type de couverture végétal et enfin une décomposition de ces utilisations par activité. Les types de végétation retenus sont les forêts primaires, les forêts secondaires, les non-forêts et autres (eau, constructions,...). Les types d'utilisation retenus sont la déforestation planifiée, la déforestation non-planifiée, la dégradation planifiée et l'afforestation. En attendant d'avoir les résultats des analyses détaillées en cours des stocks de carbone dans la région, pour les forêts primaires le facteur d'émission retenu est de 218,4 tC/ha, et pour les forêts secondaires le facteur d'émission retenu est de 120,3 tC/ha. Ensuite, les émissions par strate sont calculées en superposant les données sur la déforestation historique et les types de végétation.

Pour l'ajustement de la déforestation historique, la croissance de la population est utilisée avec des hypothèses de temps de jachère pour calculer la demande en nouvelles terres agricoles, et l'amélioration des routes et de la distribution de l'eau, l'approvisionnement de Kinshasa en bois de chauffe sont également mentionnés comme facteurs étant pris en compte dans l'ajustement mais sans précisément quantifier leur influence. Le taux d'ajustement du taux de déforestation qui est finalement proposé est 0,057%. Le niveau de référence qui en résulte est d'environ 30 millions de tCO<sub>2</sub> sur la période 2010-2030 dont 5 millions de tCO<sub>2</sub> pour l'ajustement.

### 3 Le modèle

#### 3.1 Le modèle GLOBIOM

Le modèle économique d'utilisation des terres GLOBIOM ([www.globiom.org](http://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 RDC 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 à 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 nationales (voir [www.redd-pac.org](http://www.redd-pac.org) pour une description de la base de données). Dans le modèle, les changements d'utilisation des terres sont provoqués par une augmentation (ou une diminution) des besoins locaux et mondiaux en nourriture, en bois, et en bioénergies suivant les projections de croissance de la population et de croissance économique qui ont été faites par d'autres institutions (ex : les Nations Unies). Les besoins supplémentaires peuvent être satisfaits par une augmentation des terres utilisées (ex : déforestation), par une augmentation de la productivité des terres utilisées (ex : augmentation des rendements) ou par l'importation de produits. Les changements d'usage des terres se traduisent en changement de contenu de carbone des terres (émissions de carbone dans l'atmosphère) et en changement d'étendue de l'habitat de certaines espèces qui pourrait entraîner une perte de biodiversité dans certaines zones et à l'échelle nationale (Figure 4).

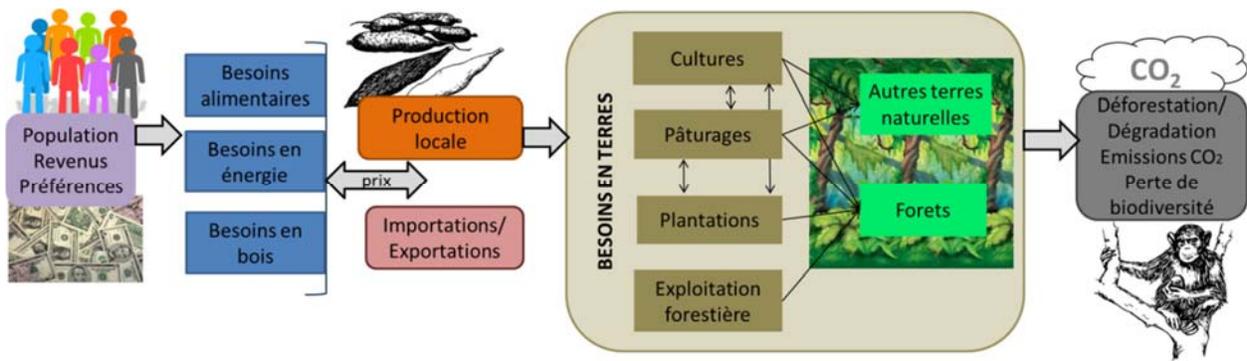


Figure 4. La déforestation future dépend des besoins futurs en nourriture, en bois et en énergie dans le modèle CongoBIOM

Les principales caractéristiques du modèle GLOBIOM sont les suivantes.

- **Modèle d'équilibre de marché:** Les ajustements des prix conduisent à l'égalité entre la consommation et la production moins les exportations plus les importations pour chaque produit et chaque région. GLOBIOM est construit sur les principales hypothèses de la théorie économique néoclassique : les agents prennent des décisions qui leur fournissent la plus grande satisfaction, l'augmentation de la satisfaction devient plus faible au fur et à mesure que les agents achètent ou vendent plus, et il y a un équilibre unique à savoir les agents n'ont pas intérêt à modifier leurs actions une fois que l'équilibre est atteint.
- **Modèle d'optimisation:** L'objectif du problème d'optimisation est de maximiser la somme du surplus<sup>5</sup> 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

<sup>5</sup> 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.

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 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 5).

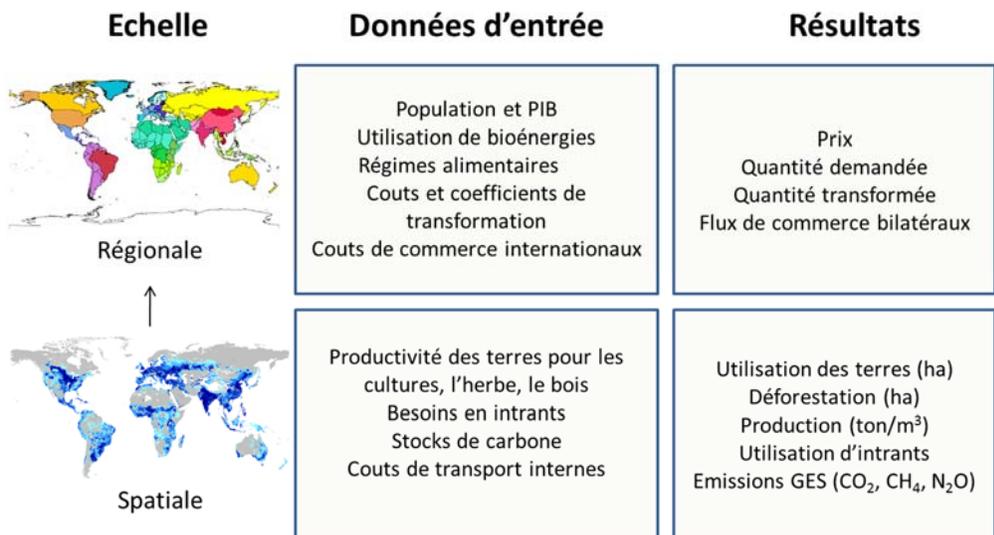


Figure 5: Principales données d'entrée et de sortie du modèle GLOBIOM à différentes échelles

Dans GLOBIOM, toutes les données spatiales d'entrée sont disponibles au niveau de l'unité de simulation. La Figure 6 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 Leontieff<sup>6</sup>. 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.

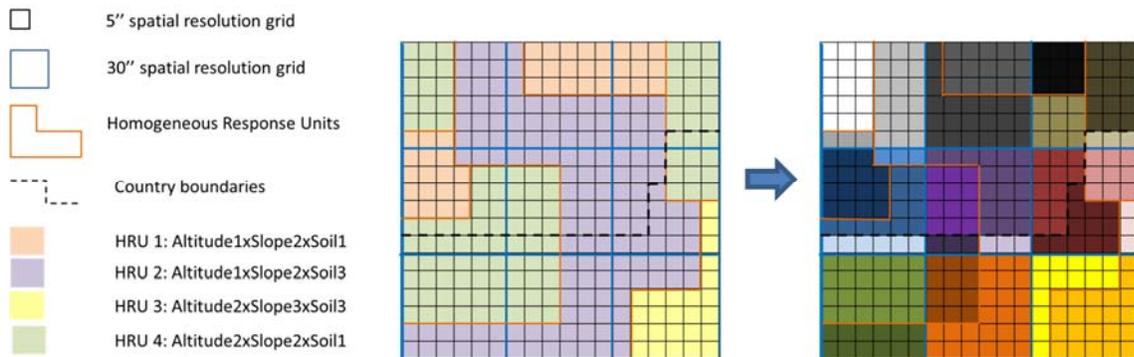


Figure 6: Éléments utilisés pour la délimitation des unités de simulation

<sup>6</sup> 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.

### 3.2 Le modèle CongoBIOM

GLOBIOM avait déjà été adapté au contexte des pays du Bassin du Congo (CongoBIOM) en 2010 afin d'explorer l'évolution des émissions issues de la déforestation et de la dégradation forestière jusqu'en 2030 (Megevand et al, 2013 ; Mosnier et al, 2014). C'était un modèle régional couvrant 6 pays : le Cameroun, la République du Congo, la République Centrafricaine, la RDC, 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 coût d'opportunité de la terre était moins élevé que dans les autres régions tropicales. Cependant, sans mesures complémentaires pour stimuler la production agricole, cela entraînait une augmentation des prix alimentaires dans la région et une augmentation des importations alimentaires. Dans le cas où une politique de limitation des émissions était introduite dans les autres pays mais pas dans le Bassin du Congo, les résultats montraient un risque important de fuite (« leakage ») des émissions vers le Bassin du Congo 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 (Havlík 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-RDC

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 Tchad<sup>7</sup>) 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 la RDC peut également commercer avec les autres sous-régions de l'espace COMIFAC : le Cameroun, la République du Congo, l'Ouest qui inclut le Gabon et la Guinée Equatoriale, le Nord qui inclut le Tchad et la République Centrafricaine et l'Est qui inclut le Rwanda et le Burundi.

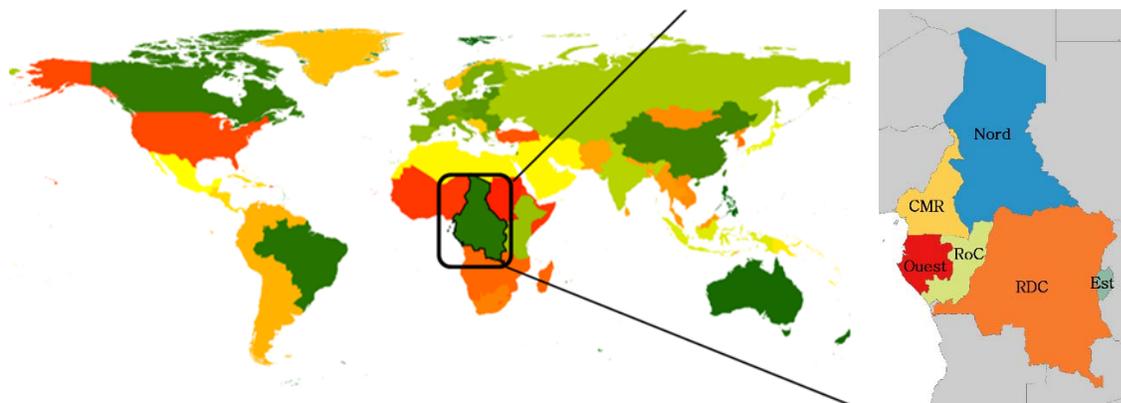


Figure 7 : La RDC est une sous-région de la zone COMIFAC (droite) qui est reliée aux 29 autres régions du modèle mondial (gauche)

Au total, la RDC comprend 2490 unités de simulation dont la taille varie entre ~ 50.000 et 300.000 hectares (Figure 8a). Toutes les données d'entrée spatiales du modèle sont intégrées au niveau de

---

<sup>7</sup> Sao Tome et Principe fait également partie de l'espace COMIFAC mais n'est pas intégrée dans GLOBIOM à l'heure actuelle.

l'unité de simulation. Quelques statistiques de production sont disponibles à l'ancien deuxième niveau administratif qui correspond au district en RDC (Figure 8c). Ces unités administratives ont été changées récemment en RDC mais comme les statistiques disponibles ne prennent pas encore en compte ce nouveau découpage, nous avons préféré utilisé l'ancienne carte administrative. Une des premières tâches du projet a été de calculer l'intersection de chaque unité de simulation avec chaque district. Le niveau de résolution de la grille finale du modèle pendant le processus d'optimisation est de  $\sim 50 \times 50$  km, ce qui résulte en 1190 unités spatiales (Figure 8b). A titre de comparaison, dans les autres régions de GLOBIOM le niveau de résolution pendant les simulations est 4 fois plus élevé.

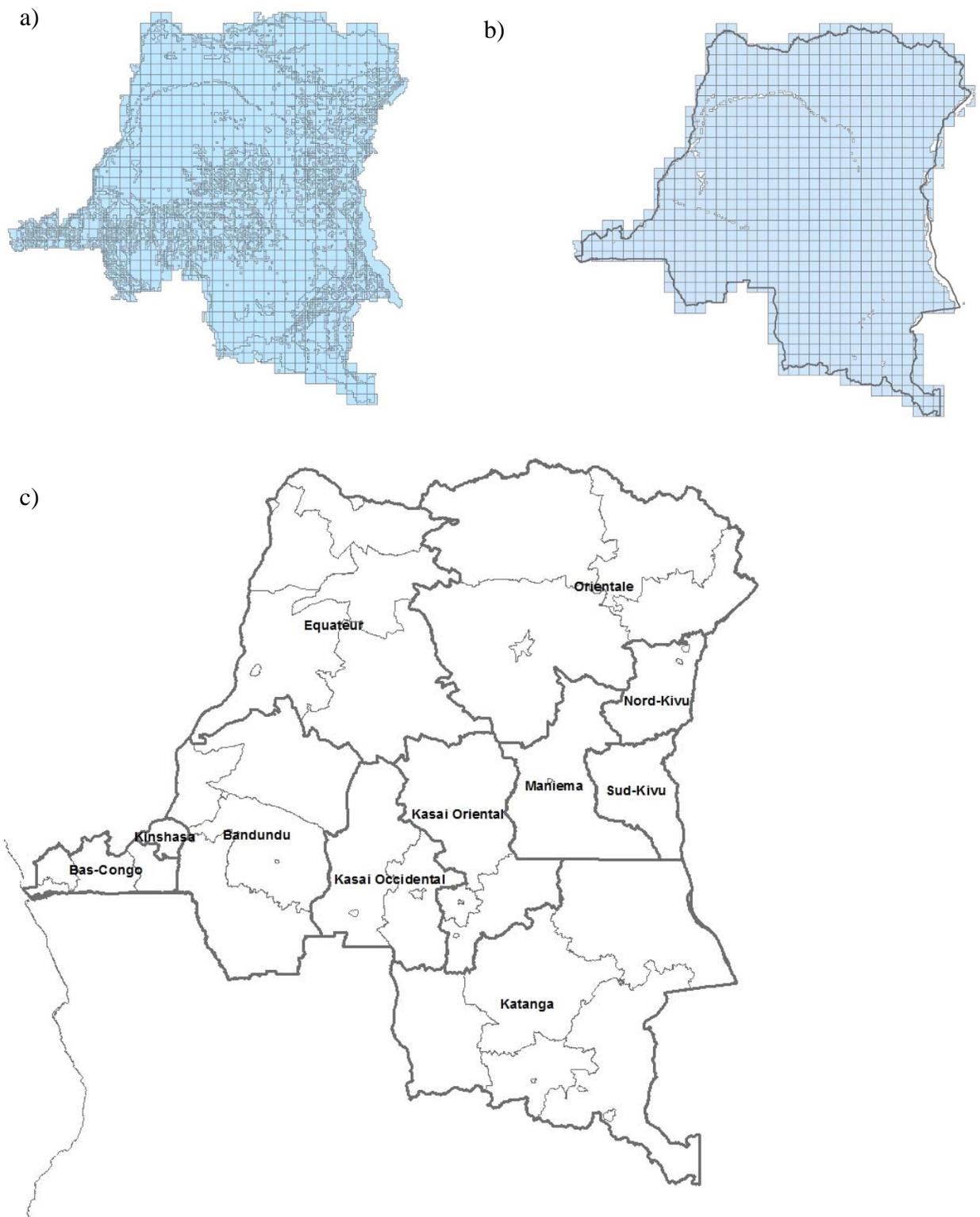


Figure 8. Les différentes échelles spatiales utilisées dans cette étude : les unités de simulation (a), la grille 30 de ArcMin ou ~50x50km (b) et les provinces et districts (c) en RDC

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 RDC 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’informations 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 RDC 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 RDC. Les cadres logiques de la déforestation et de la dégradation des forêts par secteur ont été réalisés lors d’un atelier tenu à Kinshasa avec des représentants des différents ministères et de la CN-REDD.

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

### **3.4 Principaux drivers de la déforestation en RDC et représentation dans le modèle GLOBIOM-RDC**

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 Kinshasa les 2 et 3 février 2015. Pour chaque type de besoins, la chaîne de causalité jusqu’à la déforestation ou la dégradation forestière est d’abord décrite. Ensuite, nous expliquons comment cela est représenté dans GLOBIOM.

### 3.4.1 Les besoins alimentaires

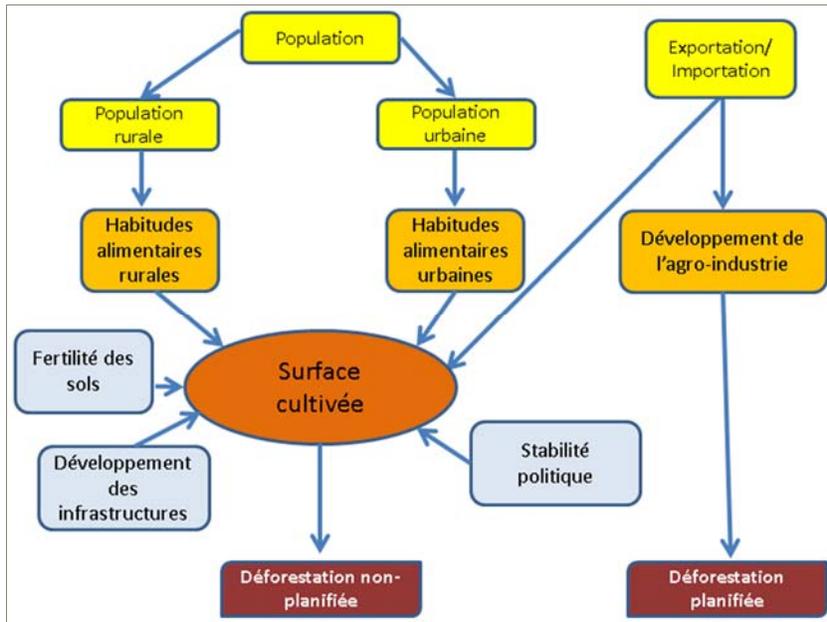


Figure 9. Les impacts des besoins alimentaires sur la dégradation forestière et la déforestation – Schéma réalisé lors des travaux de groupe

**Description du schéma logique :** Les besoins alimentaires dépendent de l'évolution de la population de la RDC mais aussi de la répartition de cette population entre ruraux et urbains qui ont des habitudes alimentaires différentes (Figure 9). Si la demande alimentaire est satisfaite par la production locale, cela se traduit par des besoins en terres pour l'agriculture (surfaces cultivées). Ces besoins en terre pour l'agriculture pourront être plus ou moins grands selon l'évolution de la fertilité des sols et le développement des infrastructures. Les nouveaux besoins en terre pour l'agriculture 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 CONGOBIOM, 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 déterminés par l'évolution de la population mais aussi l'évolution des revenus : plus on est riche et plus on a tendance à augmenter sa consommation alimentaire totale et plus particulièrement sa consommation de viande. Dans CONGOBIOM on distingue également les besoins de la population urbaine (définition : villes >300 000 habitants), qui peuvent être satisfaits soit par la production locale soit par des importations alimentaires et la population rurale qui doit produire une part importante de sa consommation alimentaire. La fertilité des sols rentre en compte dans le modèle en tant que productivité en tonnes par hectare par culture telle qu'estimée

par le modèle EPIC ([www.iiasa.ac.at/EPIC](http://www.iiasa.ac.at/EPIC)). Cette productivité varie selon les conditions climatiques, la topographie et les types de sol. Le développement des infrastructures réduit les coûts de transport du lieu de la production vers les centres de consommation ce qui incite à la fois les consommateurs à augmenter leur consommation (baisse des prix) et les producteurs à augmenter leur production.

### 3.4.2 Les besoins en énergie

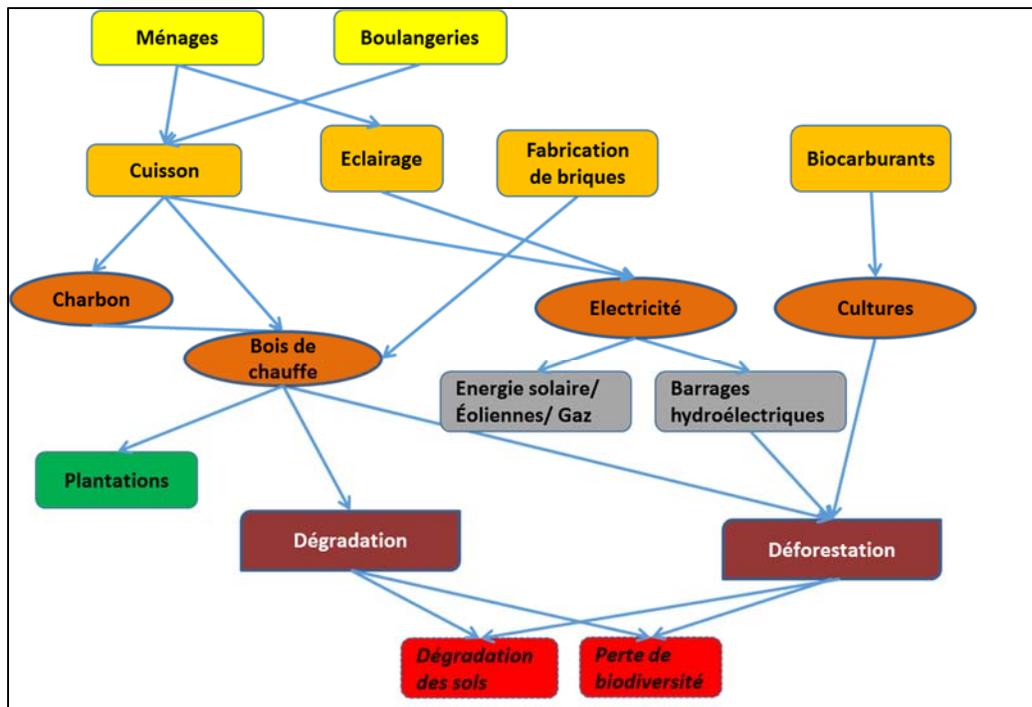


Figure 10. Les impacts des besoins en énergie sur la dégradation forestière et la déforestation – Schéma réalisé lors des travaux de groupe

**Description du schéma logique :** Les différentes utilisations du bois énergie qui ont été identifiées en RDC sont: la cuisson, l'éclairage et la fabrication de briques. Les besoins en cuisson viennent à la fois des ménages et des boulangeries et peuvent être satisfaits par le charbon ou le bois de chauffe qui sont les principales sources d'approvisionnement à l'heure actuelle. L'électricité est la principale source d'énergie pour l'éclairage et pourrait aussi remplacer le bois de chauffe pour la cuisson à l'avenir, notamment suite à la construction de nouveaux barrages hydro-électriques ou le déploiement des énergies renouvelables. La collecte récurrente de bois de chauffe provoque une dégradation voire une déforestation (Figure 10). Les biocarburants sont aussi associés à la déforestation avec l'expansion des cultures. Les participants ont identifié la perte de biodiversité ainsi que la dégradation des sols comme conséquences majeures de déforestation et de dégradation.

**Représentation dans le modèle :** Les besoins en énergie sont estimés en-dehors du modèle CONGOBIOM – par exemple par des instituts spécialisés – mais le modèle décide de la localisation

des prélèvements en bois énergie ou du développement des cultures pour les biocarburants. A l'heure actuelle, la demande en biocarburants est faible dans le Bassin du Congo mais la production locale peut être influencée par l'augmentation de la demande mondiale. Les prélèvements en bois énergie sont associés à l'agriculture de subsistance. De plus, la quantité de prélèvements en bois nécessaires dépend des coefficients techniques de transformation du bois en énergie qui reflètent dans le modèle, la part des besoins urbains qui sont principalement satisfaits par le charbon et la part des besoins ruraux qui sont principalement satisfaits par le bois de chauffe.

Par défaut dans le modèle, nous faisons l'hypothèse que 65% des ménages urbains 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 différents<sup>8</sup> (Figure 11), 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 35% d'urbains le rendement moyen est égal à  $6.5 \text{ GJ/m}^3$  au niveau national ( $35\% \times 5.14 + 65\% \times 7.24 \text{ GJ/m}^3$ ), mais en 2030 avec 50% d'urbains, ce rendement énergétique moyen diminue pour atteindre  $6.2 \text{ GJ/m}^3$  en 2030 ( $50\% \times 5.14 + 50\% \times 7.24 \text{ GJ/m}^3$ ). 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.

---

<sup>8</sup> 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.

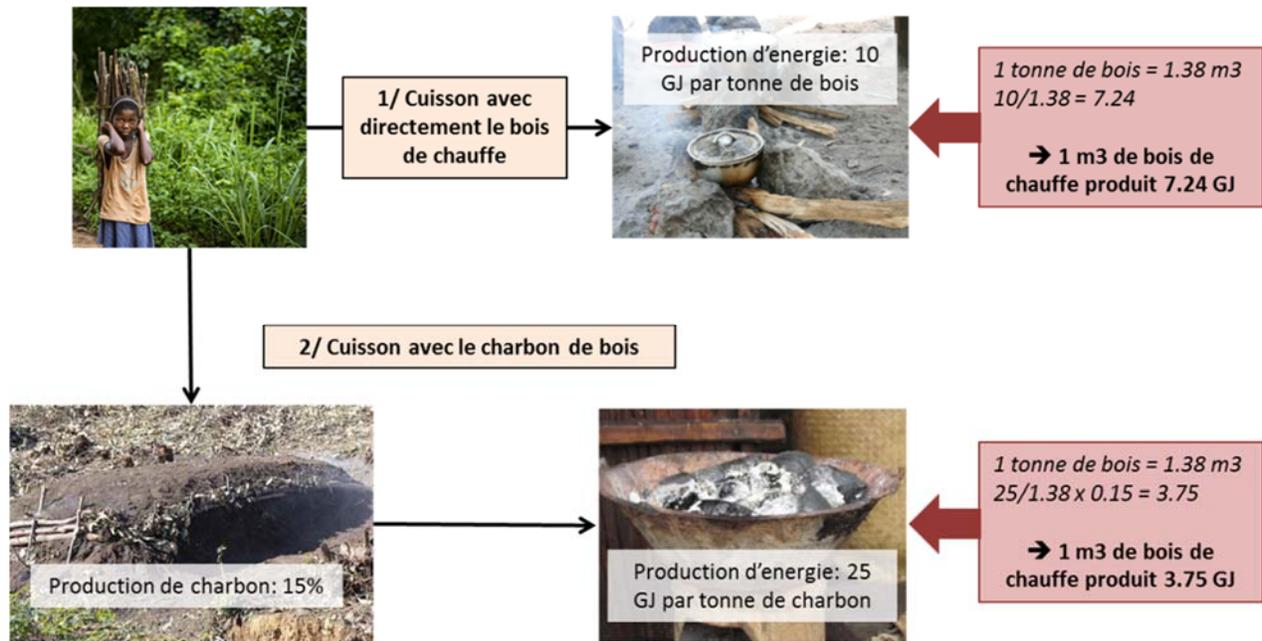


Figure 11. Conversion de bois de chauffe et de charbon en énergie pour la cuisson

### 3.4.3 Les besoins en bois d'œuvre

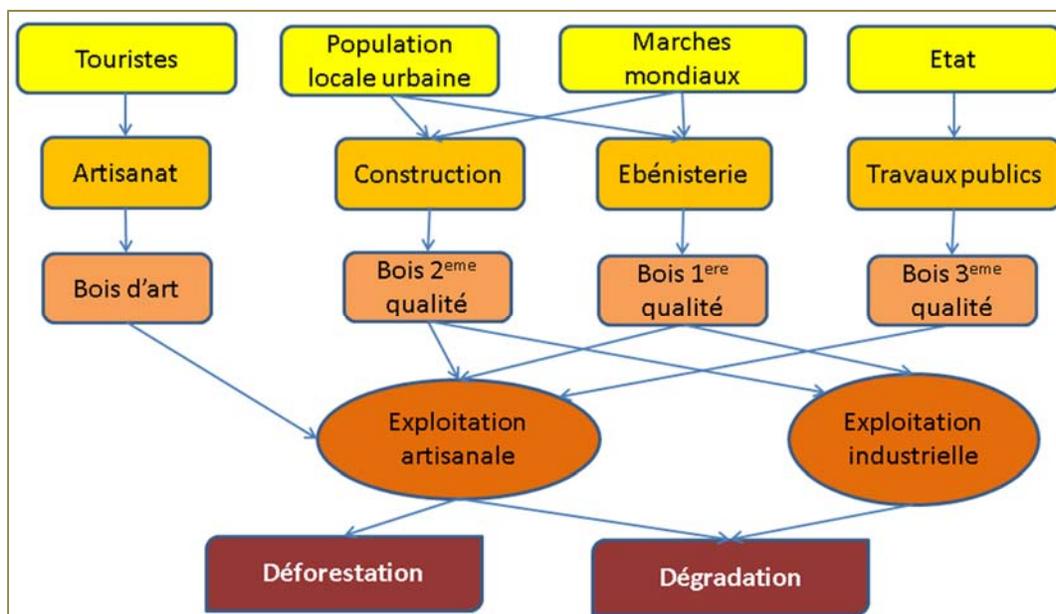


Figure 12. Les impacts des besoins en bois d'œuvre sur la dégradation forestière et la déforestation – Schéma réalisé lors des travaux de groupe

**Description du schéma logique :** Quatre groupes de consommateurs de bois d'œuvre ont été distingués: les touristes pour l'artisanat, la population locale ainsi que les marchés mondiaux pour

le bois de construction et l'ébénisterie et l'Etat pour les travaux publics (Figure 12). Les bois de 1<sup>ère</sup> qualité sont utilisés pour l'ébénisterie, les bois de 2<sup>ème</sup> qualité sont utilisés pour la construction, tandis que les bois de 3<sup>ème</sup> qualité sont utilisés pour les travaux publics. La quantité utilisée comme bois d'art est marginale comparé aux autres demandes de bois. Pour satisfaire ces besoins, deux types d'exploitation ont lieu en RDC : l'exploitation industrielle et l'exploitation artisanale. L'exploitation industrielle répond principalement aux besoins des marchés mondiaux et dans une moindre mesure de la population locale tandis que l'exploitation artisanale approvisionne principalement la demande locale. L'exploitation artisanale est la principale source de déforestation et de dégradation forestière alors que la dégradation liée à l'exploitation industrielle devrait diminuer avec l'aménagement forestier obligatoire.

**Représentation dans le modèle :** Le modèle prend à la fois en compte les besoins de la population locale et de la population mondiale en fonction de l'évolution de la population et du PIB. Cependant, dans le modèle on ne distingue pas plusieurs qualités de bois. L'exploitation industrielle est celle qui a lieu dans les concessions forestières, et est caractérisée par des taux de prélèvement faibles qui sont supposés durables : on peut récolter la même quantité de bois par concession chaque année grâce à des rotations suffisamment longues. L'exploitation artisanale a des taux de prélèvement beaucoup plus élevés et n'est pas durable et n'est pas représentée dans le modèle pour le moment. Le modèle ne permet que la dégradation des forêts dans les concessions forestières. Les forêts localisées dans des aires protégées 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 à la RDC. 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 13).

**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 pourront également être intégrées dans le calcul de réduction des coûts de transport.

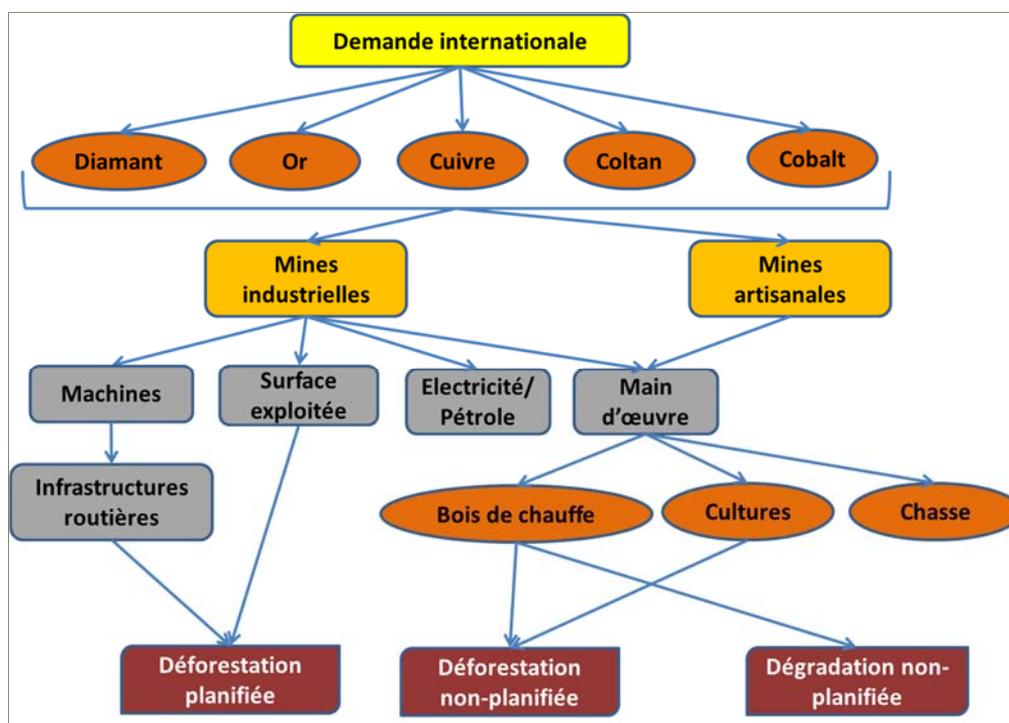


Figure 13. Les impacts des besoins en minerais sur la dégradation forestière et la déforestation – Schéma réalisé lors des travaux de groupe

## 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 Recherche<sup>9</sup> en utilisant les images satellite du programme SPOT 4 VEGETATION 1 entre novembre 1999 et décembre 2000 (<http://www.cnes.fr/web/1468-vegetation.php>) 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.

<sup>9</sup> 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.

#### **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 Programme International pour la Géosphère-Biosphère (IGBP).

### **4.2 Les cartes de végétation régionales ou spécifiques à la RDC**

#### **4.2.1 UCL 2000**

Cette carte de l'occupation du sol de la RDC a été réalisée par le département Géomatique de l'Université Catholique de Louvain. Elle présente 18 classes d'occupation du sol et tout particulièrement la répartition spatiale des formations végétales de la RDC. Le jeu de données utilisé afin de produire la classification de l'occupation du sol est constitué de 366 images journalières acquises au cours de l'année 2000 par le capteur VEGETATION (VGT) embarqué à bord du satellite SPOT-4. Cette carte qui fait partie d'une série de 3 cartes publiées en janvier 2006, présente également les caractéristiques de la saisonnalité des formations végétales (Vancutsem, Pekel, Evrard, Malaisse, & Defourny, 2009).

#### **4.2.2 UCL 2005**

Cette carte comprend 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 1km (Verhegghen, Mayaux, de Wasseige, & Defourny, 2012). 20 classes ont été distinguées sur la même base que la typologie de la FAO.

### 4.2.3 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.

### 4.3 Comparaison des cartes existantes pour la RDC et carte hybride

Pour la RDC, les 6 cartes décrites précédemment ont été analysées : GLC2000, Globcover, MODIS, UCL2000, UCL2010, et FACET. Une première étape afin de pouvoir mieux comparer les cartes existantes a été de les agréger dans les mêmes classes de végétation (cf. Tableau en annexe et [www.geo-wiki.org](http://www.geo-wiki.org) pour la visualisation). Les différents types de couverture végétale qui sont représentés dans GLOBIOM-RDC sont : les terres cultivées, les pâturages, les forêts de terre ferme, les forêts inondées, les autres zones inondées et les autres terres naturelles. Afin d'explorer une potentielle divergence des cartes de végétation à cause des différences de définition de la forêt utilisées, nous avons distingué les forêts humides et les forêts sèches dans cet exercice de comparaison. Il a finalement été décidé d'utiliser une carte hybride où plusieurs cartes peuvent être utilisées pour représenter au mieux une certaine classe de couvert végétal ou le couvert végétal dans une certaine région.

Les incertitudes sont grandes quant à l'utilisation actuelle des terres en RDC, particulièrement pour les terres agricoles (Figure 14 et Figure 15). La surface totale de terres cultivées varie entre 8 et 36 millions d'hectares entre les cinq cartes de végétation étudiées. La répartition géographique est également très différente d'une carte à l'autre. GLC n'identifie pas de terres cultivées dans le Katanga et peu dans le Bandundu qui sont pourtant deux régions agricoles importantes. D'après la carte de l'UCL pour 2005, les terres agricoles sont distribuées sur quasiment tout le territoire tandis que d'après la carte MODIS les terres agricoles sont concentrées dans la zone Sud et Est des forêts denses humides. Sur la base des discussions avec les experts nationaux la carte Modis a été considérée comme plus réaliste en termes de répartition des terres cultivées sur le territoire de la RDC à part pour les provinces de l'Equateur et Orientale où les surfaces agricoles d'après MODIS semblaient trop faibles. Pour ces deux provinces, la carte GLC 2000 a été utilisée. Cela conduit à une surface totale de terres arables de 20 millions d'hectares pour 2000.

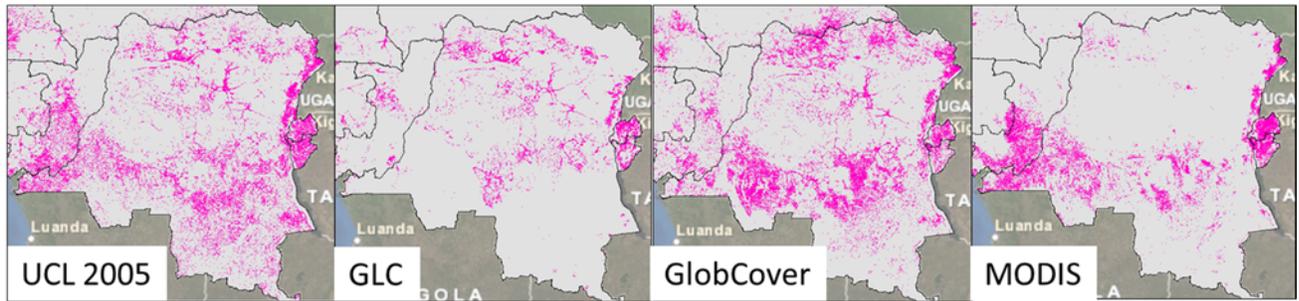


Figure 14. Localisation des terres arables en RDC selon différentes sources

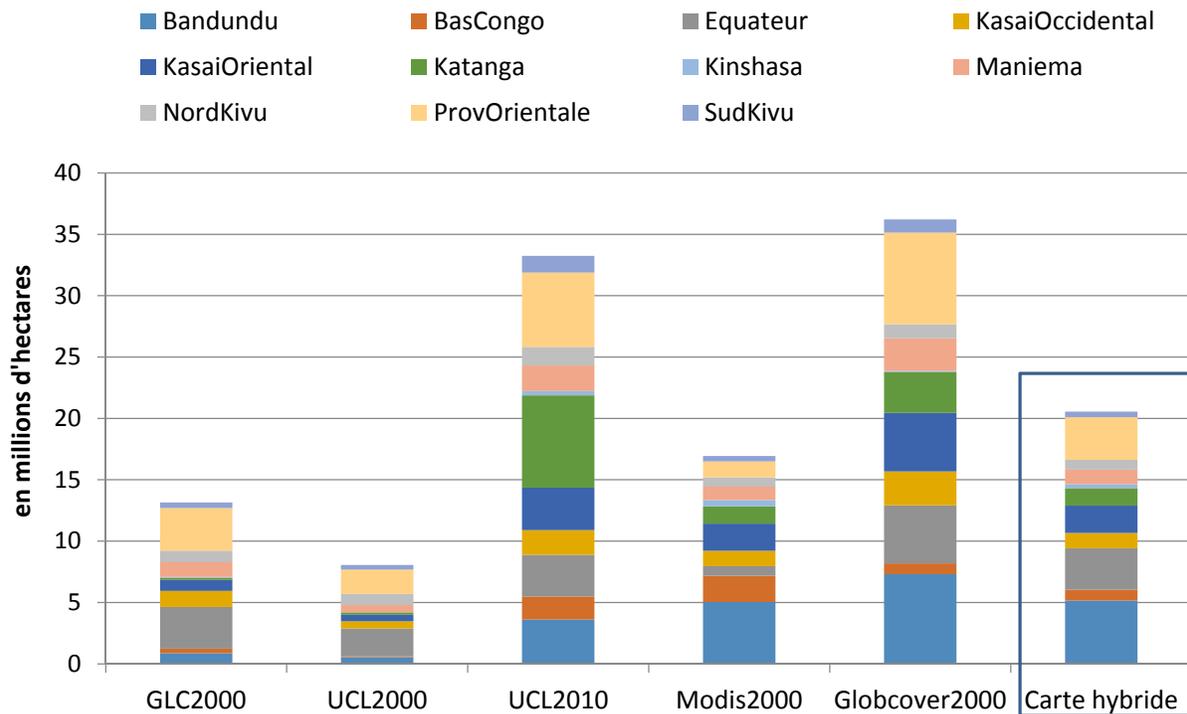


Figure 15. Répartition des terres arables par département selon différentes cartes de végétation

Pour les terres forestières la surface totale de forêt varie entre 138 et 206 millions d'hectares selon les cartes (Figure 16). On observe cependant que lorsque l'on considère seulement les forêts humides, l'incertitude est moins forte avec des surfaces qui varient entre 95 et 120 millions d'hectares (hors GLC pour laquelle nous n'avons pas pu reclasser les classes de végétation). La variation de la surface totale dépend donc de la définition de la forêt qui est utilisée, particulièrement dans les zones sèches. Cela est également reflété dans l'allocation des surfaces forestières par province avec une plus grande variation pour le Katanga et le Bas-Congo (Figure 17). Il a été décidé d'utiliser la carte GlobCover pour délimiter les surfaces en forêt dans la carte hybride à part pour la classe « forêt inondée » 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 2005. Au total, nous obtenons une surface initiale de forêts de 150 millions d'hectares en 2000 ce qui est proche de l'estimation de FACET (153 millions d'hectares), dont 110 millions d'hectares de forêts denses humides de terre ferme.

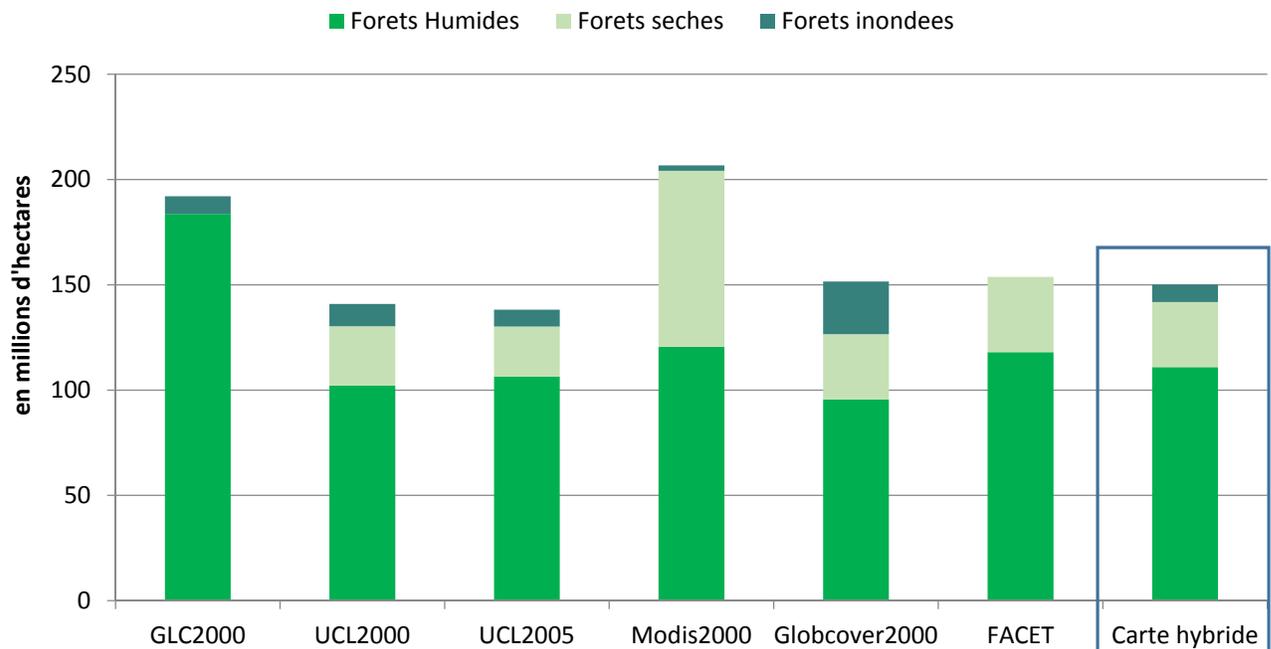


Figure 16. Répartition par type de forêt selon différentes sources

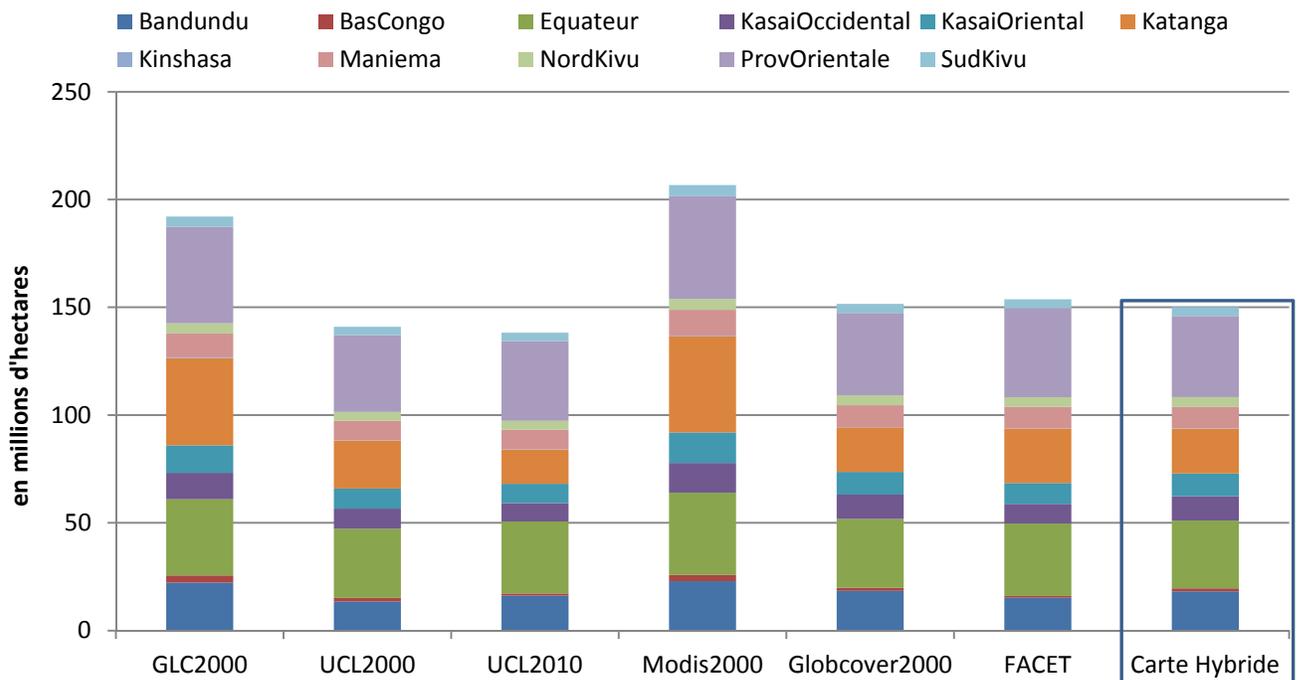


Figure 17. Répartition des surfaces forestières par province selon différentes cartes de végétation

#### 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/savanes/savanes arbustives 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 WRI pour 2007 afin de renseigner l'année de base de modèle qui est 2000. La surface sous concessions forestières attribuées était de 12,4 millions d'hectares et la surface sous aires protégées était de 25,6 millions d'hectares (Figure 18).

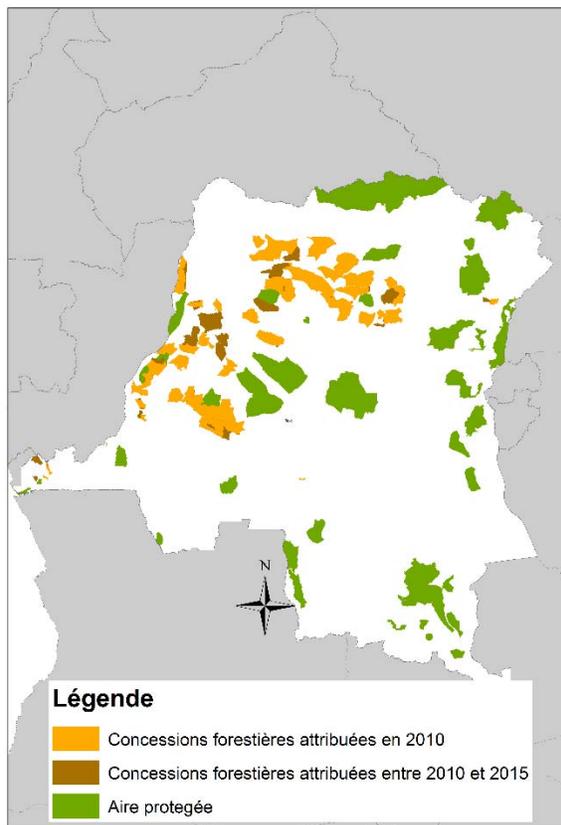


Figure 18. Les concessions forestières et les aires protégées répertoriées par WRI

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 19). Cela explique pourquoi la surface d'aires protégées dans le modèle peut être inférieure à la surface officielle (Tableau 1). Pour la RDC, cela réduit la surface totale d'aires protégées de 5%. Les aires protégées sont ensuite réparties par classe de végétation : dans le modèle, 78% de la superficie des aires protégées sont comprises dans les forêts dont 66% dans les forêts humides.

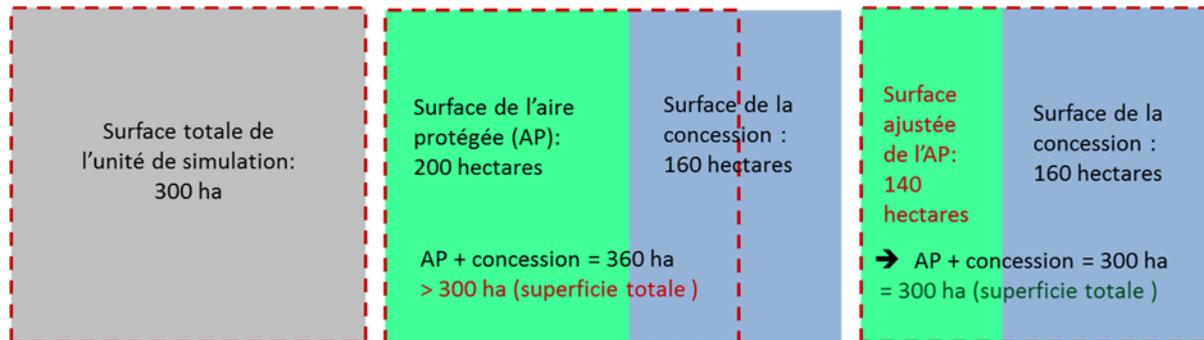


Figure 19. Procédure d'ajustement des aires protégées s'il y a chevauchement des usages

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 de forêts non exploitées et peuvent donc être converties à d'autres usages dans le modèle.

Tableau 1. Comparaison de la superficie totale initiale et intégrée dans le modèle pour les forêts exploitées et les aires protégées en RDC (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	25.6	24.2	15.9	0.9	2.9	4.4
Forêts exploitées	12.4	12.2				

Au total, 31 millions d’hectares de forêts ne peuvent donc pas être convertis à d’autres usages dans le modèle grâce aux concessions forestières et aux aires protégées, ce qui représente un cinquième de la surface totale des forêts de la RDC.

Depuis 2006, d’autres concessions forestières ont été attribuées en RDC et ont été rajoutées à la classe « forêts exploitées » pour les périodes après 2010. Cela représente une surface additionnelle de forêt de 3 millions d’hectares qui ne peuvent pas être convertis à d’autres usages dans le scénario de base (Figure 18).

#### 4.4.2 Les surfaces cultivées

Nous avons pu accéder aux statistiques agricoles annuelles pour la période 2006-2011 auprès du Ministère de l’Agriculture. Ces statistiques ne concernent que la production. Cependant, ces chiffres sont à considérer avec précaution. Le dernier grand recensement agricole date de 1970 en RDC et celui de la population de 1984. La dernière collecte de statistiques agricoles sur le terrain date de 1996-1997 à l’exception de collectes de données localisées et ponctuelles qui ont pu avoir lieu dans le cadre de certains projets mais qui ne sont malheureusement pas faciles d’accès. Cela signifie que les statistiques agricoles dont nous disposons sont des projections, qui ont été calculées en faisant l’hypothèse d’un certain taux de croissance de la production par an. En l’absence d’alternative, nous utilisons quand même ces statistiques mais nous attendons avec impatience la collecte de nouvelles statistiques agricoles sur l’ensemble du territoire. Nos remarquons ici que ces statistiques étaient seulement disponibles en format pdf ce qui a causé des délais supplémentaires pour les obtenir à un format utilisable par le modèle (excel ou csv).

Nous avons également besoin de faire quelques ajustements afin d’obtenir la production et la surface cultivée par culture et par district en 2000. La production pour 2000 est calculée en divisant la production de 2006 par le taux de croissance annuelle calculé entre 2006 et 2007<sup>10</sup> à la puissance 6 pour les 6 années qui séparent 2000 et 2006. Pour obtenir les surfaces agricoles qui ne sont pas renseignées dans les statistiques, nous utilisons les rendements par culture et par province qui sont renseignés dans les monographies provinciales du PNSAR<sup>11</sup>. A part pour la pomme de terre dans le Kasai Oriental, les rendements sont proches du rendement moyen reporté par la FAO en 2000

---

<sup>10</sup> Nous obtenons le même taux de croissance annuelle sur toute la période 2006-2011 ce qui confirme que les statistiques utilisées sont des projections.

<sup>11</sup> Ces monographies ont été produites pour la Province Orientale, le Bas-Congo, le Bandundu, l’Equateur, Kinshasa, et le Kasai Oriental.

(Figure 20). Les surfaces cultivées que nous obtenons pour 2000 sont assez proches de celles reportées par la FAO (Figure 21).

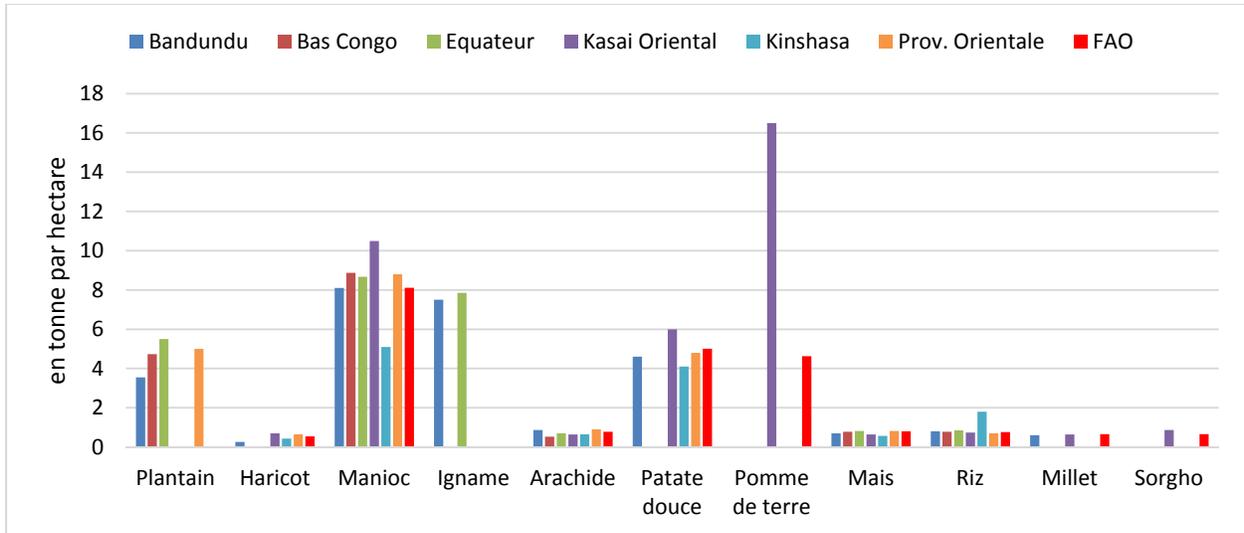


Figure 20 : Rendements moyens par province d’après les monographies provinciales du PNSAR et moyenne nationale d’après la FAO

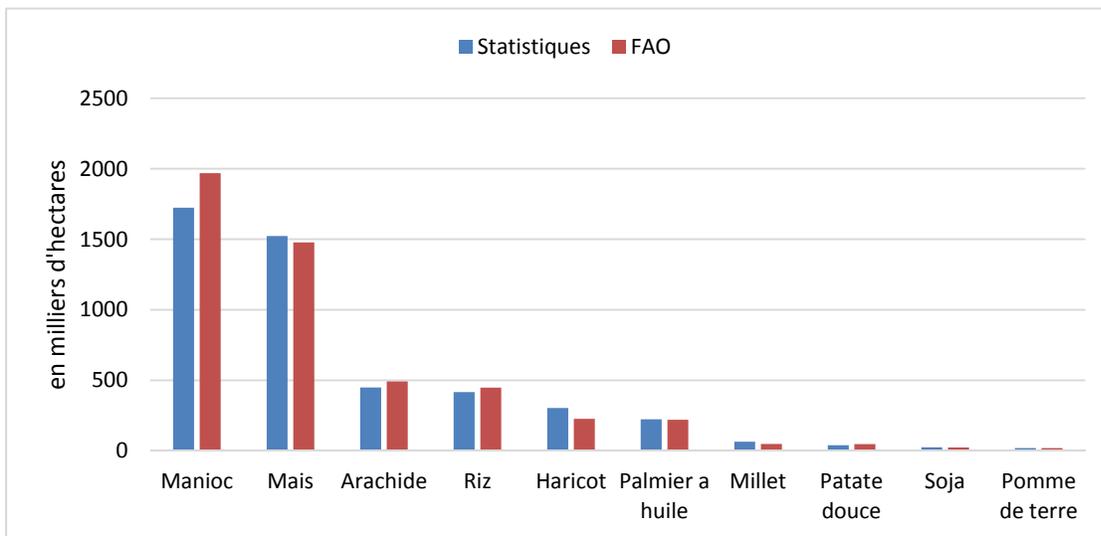


Figure 21 : Surfaces agricoles estimées pour 2000 sur la base des statistiques agricoles et d’après la FAO

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 seuils :

- pour une densité de population en-dessous de 20 habitants par km<sup>2</sup>, 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 km<sup>2</sup>, 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 km<sup>2</sup>, 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 22 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. Dans les zones de forêts sèches dans le Sud du pays et les zones avec une forte densité de population (Est), on observe des coefficients multiplicateurs plus faibles.

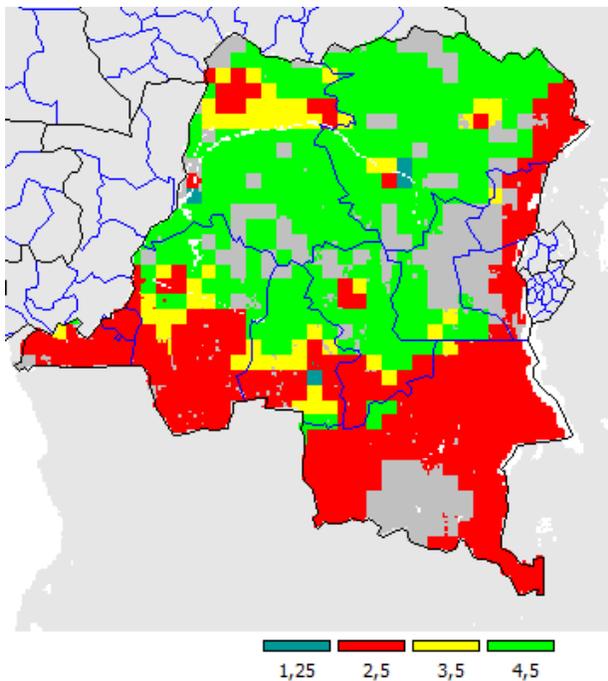


Figure 22 Coefficient multiplicateur des terres cultivées pour prendre en compte les différents temps de jachère (exemple du manioc)

### 4.4.3 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 contraignant<sup>12</sup>. 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 le coût et l'effort de maintenance et de récolte sur les plantations ainsi que le risque d'érosion. Les zones d'altitude sont également moins propices due à des températures moins élevées.

Nos résultats montrent que la RDC dispose d'un total de 166.95 millions hectares de terres propices pour la culture industrielle du palmier à huile, soit 71% de la superficie terrestre nationale (Figure 23)<sup>13</sup>. La plupart des terres propices à la culture du palmier à huile sont dans la classe 4/5 soit un niveau de productivité potentiel élevé. Notamment dans la zone intérieure de la RDC les facteurs sont réunis pour avoir un très haut potentiel pour la culture du palmier à huile. Pour les régions où

---

<sup>12</sup> 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](http://www.iiasa.ac.at/publication/more_IR-15-006.php).

<sup>13</sup> Voir aussi : [http://rdc.moabi.org/data/fr/#6/-2.877/22.830&layers=moabi\\_palm\\_suitability](http://rdc.moabi.org/data/fr/#6/-2.877/22.830&layers=moabi_palm_suitability)

la saison sèche dépasse 2 à 3 mois, le potentiel est plus faible. Du point de vue climat-topographie-sol la province Orientale est la plus favorable à la culture du palmier à huile tandis que le Katanga et le Bandundu sont faiblement propices voir inaptes pour la culture du palmier.

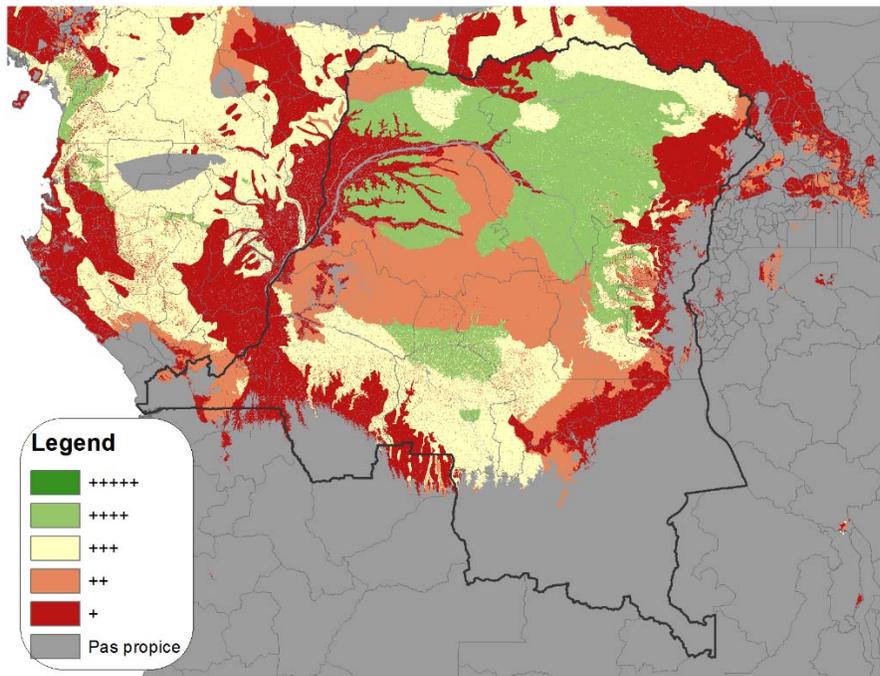


Figure 23. Carte de potentiel biophysique du palmier à huile en RDC (de vert = très fort potentiel a rouge = faible potentiel et gris = non propice) d'après Pirker et Mosnier (2015)

#### 4.4.4 Processus d'allocation spatiale des surfaces agricoles pour 2000

Les surfaces cultivées et en jachère sont finalement attribuées au niveau des unités de simulation en utilisant une méthode de « cross-entropy » ou les cartes de coûts de transport vers la ville la plus proche, de potentiels de productivité et de densité de population sont utilisés pour déterminer la localisation la plus probable des activités à l'intérieur de chaque district. 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 reste inférieure ou égale à la surface en terres agricoles de la carte 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 (statistiques) par district.

On arrive à une surface en terres arables totale de 13 millions d’hectares en 2000 pour la RDC, dont 40% sont composées des jachères<sup>14</sup>. La différence entre la classe « terres agricoles » de la carte de végétation initiale et les terres arables ainsi calculées est de 7 millions d’hectares qui sont réalloués 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 24). On voit notamment sur la carte que dans la majorité des unités de simulation, la surface cultivée ne représente qu’entre 5.000 et 20.000 hectares soit moins de 7% de la surface totale des unités de simulation.

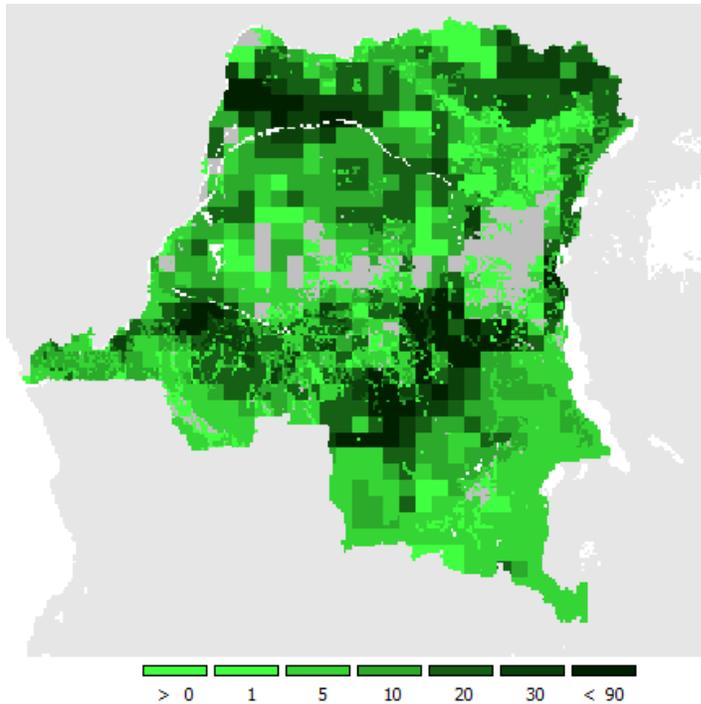


Figure 24. Surfaces en terres arables en 2000 par unité de simulation (en milliers d’hectares)

#### 4.4.5 Elevage

Nous avons obtenu des données pour le secteur de l’élevage auprès de la Banque centrale de la RDC/Direction de la recherche et des statistiques. Les données sont renseignées pour les bovins, caprins, ovins, porcins et la volaille en milliers de têtes pour les années 2006 et 2010 par province. En termes de nombre total de têtes, les chiffres sont proches des données FAO-ILRI pour 2000. En termes de répartition du cheptel des bovins, les statistiques sont aussi assez semblables à ce que nous avons par défaut dans le modèle à part pour le Maniema (Figure 25). Pour les ovins et caprins,

<sup>14</sup> A titre de comparaison, la FAO reporte 7,5 millions d’hectares de terres arables seulement.

les différences sont un peu plus fortes avec notamment une plus grande part du cheptel alloué dans les provinces du Maniema et des deux Kasai (Figure 26). Néanmoins, étant donné que l'écart n'est pas si grand et que la différence d'année entre les statistiques et la FAO pourrait expliquer en partie ces différences, nous choisissons de garder les données FAO-ILRI pour représenter l'élevage dans GLOBIOM-RDC.

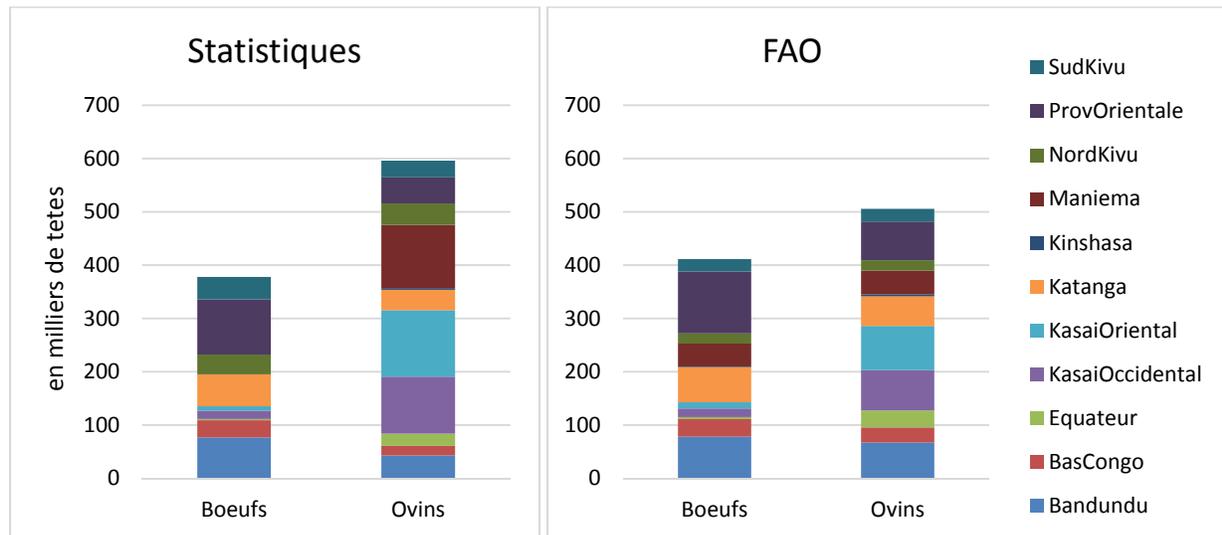


Figure 25. Comparaison de la répartition des effectifs de bovins et caprins entre départements

Dans le modèle, les ruminants sont représentés au niveau des unités de simulation où 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 4,8 millions d'hectares en RDC qui sont séparés des autres terres naturelles. On peut voir la répartition spatiale des pâturages telle qu'intégrée dans le modèle pour 2000 dans la Figure 26. 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.

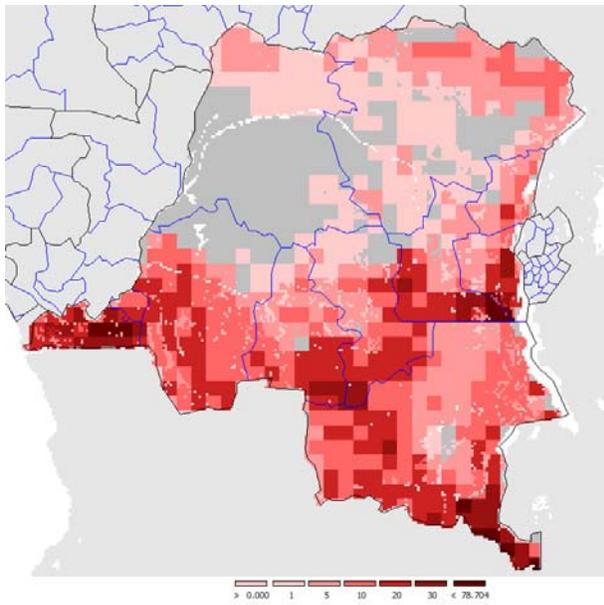


Figure 26 Surfaces en pâturages en 2000 par unité de simulation (en milliers d'hectares)

## 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 (G. E. Kindermann, McCallum, Fritz, & Obersteiner, 2008) sont utilisées par défaut dans GLOBIOM pour le carbone contenu dans la forêt. Ces estimations sont ajustées pour correspondre à l'inventaire carbone de FRA-FAO 2010 pour chaque pays. Pour les plantations forestières à courte rotation (ex : eucalyptus, peuplier, pin), le contenu carbone est calculé sur la base de leur productivité potentielle. Pour le carbone contenu dans les autres terres naturelles, on utilise la carte de biomasse de (Ruesch & Gibbs, 2008). En utilisant cette approche, le contenu carbone varie entre les types de végétation et entre les unités spatiales. Les émissions de CO<sub>2</sub> (ou la séquestration de CO<sub>2</sub>) 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 de LiDAR, mais utilisent différentes données de terrain pour la calibration et des méthodes de modélisation spatiale différentes ((Mitchard et al., 2013). Cela a pour conséquence d'importantes différences dans les estimations de la biomasse entre les deux cartes, particulièrement pour le Bassin du Congo<sup>15</sup>. 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

---

<sup>15</sup> Vous pouvez voir les différences sur <http://www.geo-wiki.org/branches/biomass/>.

choix d'une carte ou de l'autre peut significativement affecter les émissions issues de la déforestation calculées au niveau national.

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

### 5.1.2 Les émissions liées à la dégradation de la forêt

Bien qu'il existe trois grands types d'activités qui ont été identifiées comme causes majeures de dégradation de la forêt en RDC : l'exploitation forestière formelle, la collecte informelle de bois d'œuvre et la collecte informelle de bois de chauffe (Section 3.4), nous ne présentons dans cette étude que les émissions liées à la dégradation des forêts dans les concessions formelles préalablement identifiées (Section 4.4.1).

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 m<sup>3</sup>/ha. Les émissions totales liées à l'exploitation sont décomposées en trois facteurs : 0.25 tC/m<sup>3</sup> pour le volume de bois prélevé, 0.50 tC/m<sup>3</sup> pour les dégâts sur le peuplement résiduel et les résidus d'exploitation et 0.24 pour les émissions liées à la construction des infrastructures<sup>16</sup>. Cela revient à des émissions totales de 0.99 tonne de carbone par m<sup>3</sup> exploité. Par rapport aux émissions liées à l'exploitation forestière dans les 5 autres pays tropicaux de leur étude, les émissions issues de l'exploitation forestière dans la concession du Congo sont de loin les plus faibles par unité de bois extraite. Au niveau des émissions par hectare exploité, le Congo reste dans la fourchette basse de l'échantillon de pays considérés avec 8.9 tonnes de perte de carbone par hectare exploité, mais cela est assez comparable avec le Brésil et la Bolivie. Une étude de la FAO a trouvé des résultats assez similaires dans le chantier forestier de la société « Industrie de Transformation des Bois de la Likouala (ITBL) avec 10,2 tonnes de perte de carbone par hectare exploité.

(Durrieu de Madron, Bauwens, Giraud, Hubert, & Billand, 2011) ont calculé l'impact de différentes pratiques d'exploitation forestière sur les stocks carbone à partir de données d'aménagement issues de plusieurs concessions du bassin du Congo et de la littérature. Ils font l'hypothèse que la mise sous aménagement entraîne : i) la mise en place de séries de protection

---

<sup>16</sup> 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.

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 2 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 2 Facteur d’émission total et par type d’impact pour différents types d’exploitation forestière

Type d’exploitation	tC dans le bois prélevé	tC pour les dégâts engendrés sur le peuplement	tC pour les dégâts engendrés par les infrastructures	TOTAL en tC par m <sup>3</sup> de bois extrait
Exploitation formelle sous aménagement	0.25	0.5	0.24	<b>0.99</b>
Exploitation formelle conventionnelle	0.25	0.50x1.1= 0.55	0.24x1.1 = 0.26	<b>1.06</b>

### 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 (CH<sub>4</sub>) qui est émis à travers la fermentation entérique (pendant la digestion des ruminants), et le méthane (CH<sub>4</sub>) et l’azote (N<sub>2</sub>O) 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 (N<sub>2</sub>O) issu de l’application d’engrais chimiques et organiques, et le méthane (CH<sub>4</sub>) 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 les 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 de l'extinction d'espèce menacées et sauvegarde et restauration des services fournis par les écosystèmes)<sup>17</sup>. 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 RDC 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 27).

---

<sup>17</sup> Objectif d'Aichi 12 : « D'ici à 2020, l'extinction d'espèces menacées connues est évitée et leur état de conservation, en particulier de celles qui tombent le plus en déclin, est amélioré et maintenu. »

Objectif d'Aichi 14 « D'ici à 2020, les écosystèmes qui fournissent des services essentiels, en particulier l'eau et contribuent à la santé, aux moyens de subsistance et au bien-être, sont restaurés et sauvegardés, compte tenu des besoins des femmes, des communautés autochtones et locales, et des populations pauvres et vulnérables. »

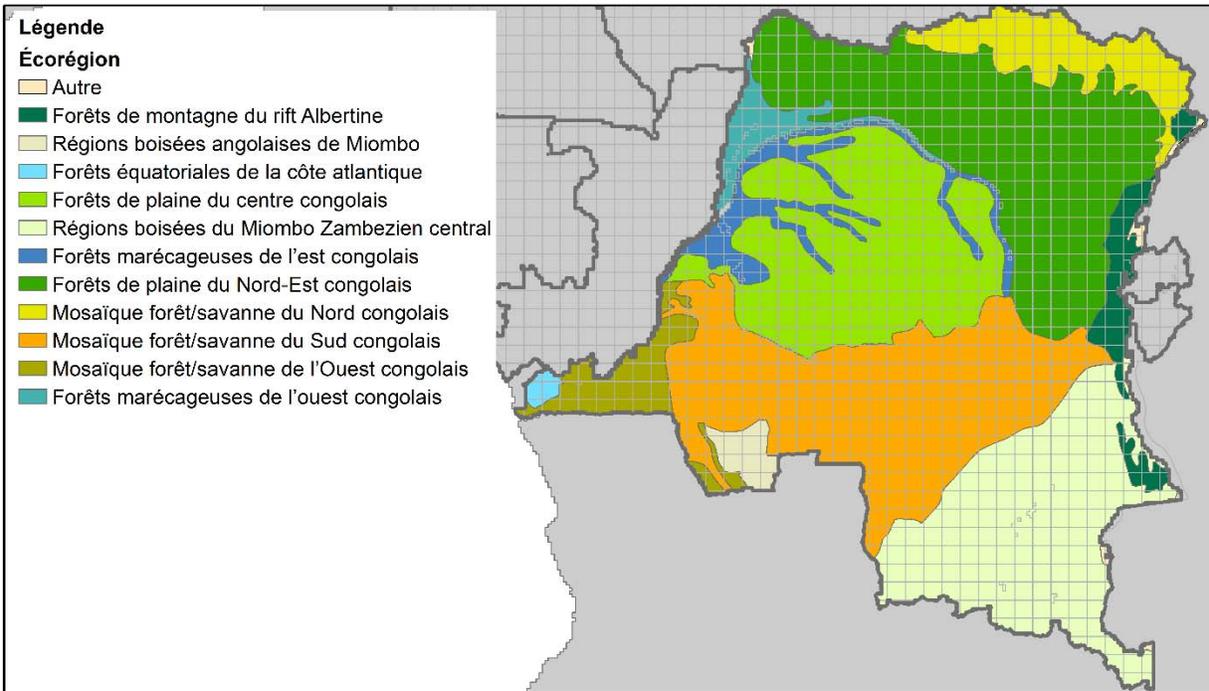


Figure 27 Carte des écorégions de la RDC

### 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. La RDC abrite trois espèces menacées de grands singes –le bonobo, le chimpanzé, et le gorille de montagne<sup>18</sup>- qui ont le potentiel de soutenir le développement des activités d'écotourisme, un service écosystémique clé. La RDC 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

---

<sup>18</sup> Le gorille des plaines ou le gorille de l'Ouest est également présent en RDC mais sur une surface très limitée. Il n'a pas été pris en compte dans cette analyse.

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, Henriksen, Raxter, Ash, & Mrema, 2014). Au niveau national, il est possible de se référer aux textes législatifs afin d'identifier quelles sont les espèces partiellement ou intégralement protégées.

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

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

Afin de comprendre la répartition dans l'espace de l'impact relatif du changement d'utilisation des terres sur les espèces, un indice agrégé a été développé : plus la surface de perte d'habitat est grande, plus cet habitat est partagé par un grand nombre d'espèces, et plus cela représente une grande proportion de l'habitat d'une espèce dans le pays (niveau d'endémisme), plus l'indice d'impact sur les espèces sera grand. La Figure 26 présente la méthodologie adoptée pour le calcul de cet indice composite de «changement combiné de l'habitat pour les espèces» :

- (A) On part de la cartographie sur l'éventail des espèces étudié.
- (B) 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).
- (C) 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.
- (D) 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)
- (E) On fait la somme de la perte (ou gain) en habitat potentiel pour toutes les espèces.

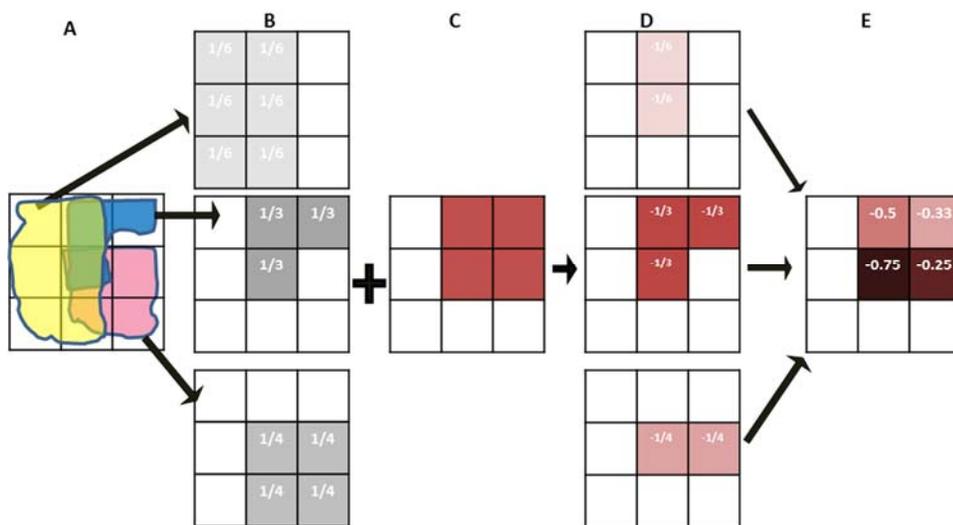


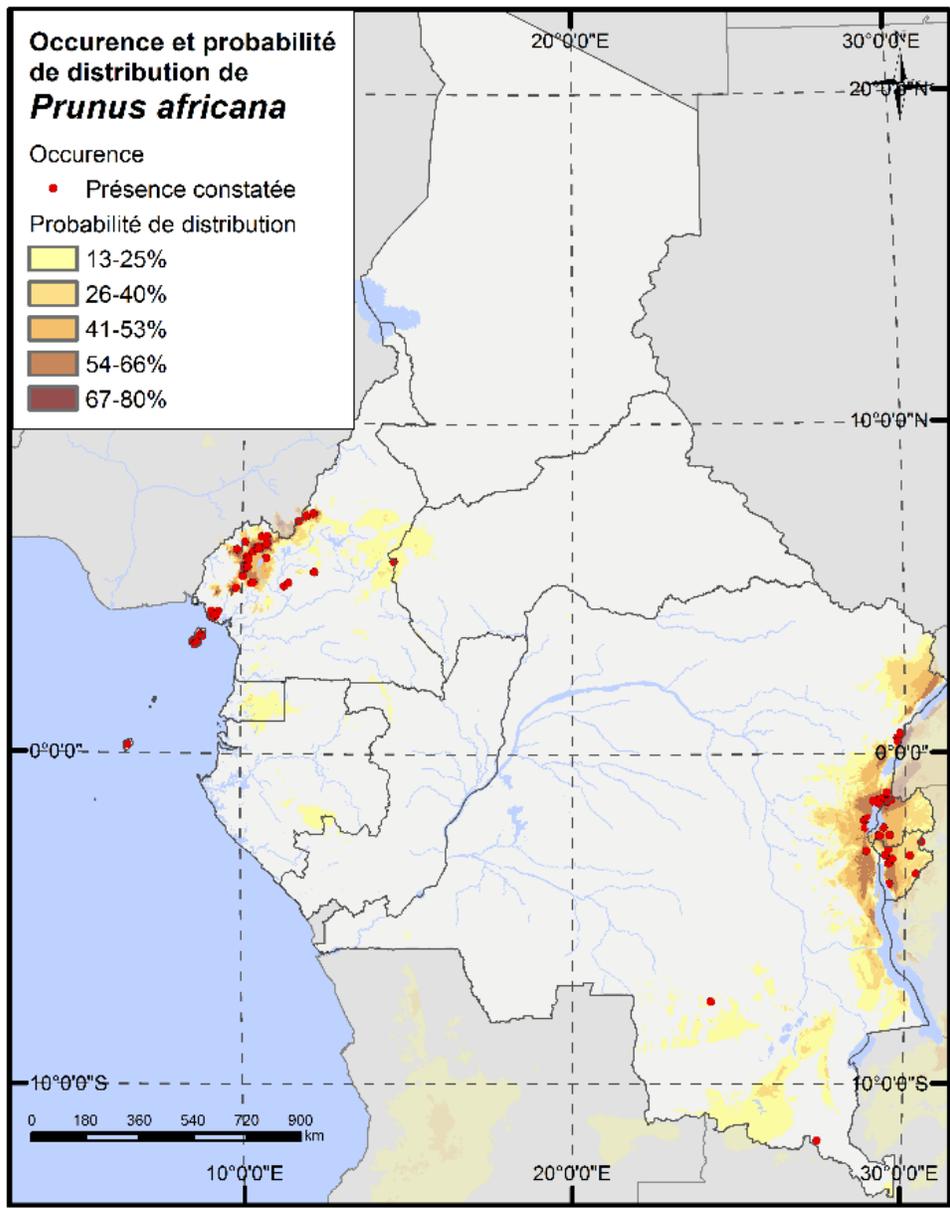
Figure 28 Méthode de calcul pour l'indice composite de changement combiné de l'habitat pour les espèces

### 5.2.3 Impact sur les produits forestiers non-ligneux

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

Des informations récentes ont cependant pu être identifiées pour certaines espèces dont le *Prunus africana*, un arbre dont l'écorce est largement utilisée en tant que produit médicinal et dont les zones d'occurrence et de présence probable sont présentées sur la Figure 29 (Vinceti et al., 2013). Dans l'idéal, la détermination de zones prioritaires pour ces PFNL devrait être complétée par l'ajout d'informations sur l'utilisation réelle de ces ressources par les populations locales. Cependant, combiner ces informations sur les zones propices à la récolte des produits du *Prunus* avec celles sur les aires de perte probable du couvert forestier permet de déterminer l'ampleur de l'impact de différents scénarios sur ce service écosystémique potentiel et les zones où cet impact pourrait se produire.

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



Source: Vinceti, B. et al., 2013.  
 Conservation priorities for *Prunus africana* defined with the aid of spatial analysis of genetic data and climatic variables. G. G.

Projection cartographique: projection en Lambert Azimuthal Equal Area, latitude à l'origine de 5 et méridien central de 19. Carte préparée par l'UNEP-WCMC, Cambridge.

Figure 29 Occurrence et probabilité de distribution de *Prunus africana* dans le Bassin du Congo

## 6 Description des scénarios

L'horizon temporel qui a été retenu pour cette étude est 2030. Le 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. Les scénarios alternatifs ont pour objectif d'explorer l'impact d'un contexte socio-économique différent ou de politiques soit laxistes (non-respect des lois actuelles) ou plus volontariste avec la mise en œuvre de nouvelles politiques. L'ensemble des scénarios qui sont testés dans le cadre de cette étude sont présentés dans la Figure 30.

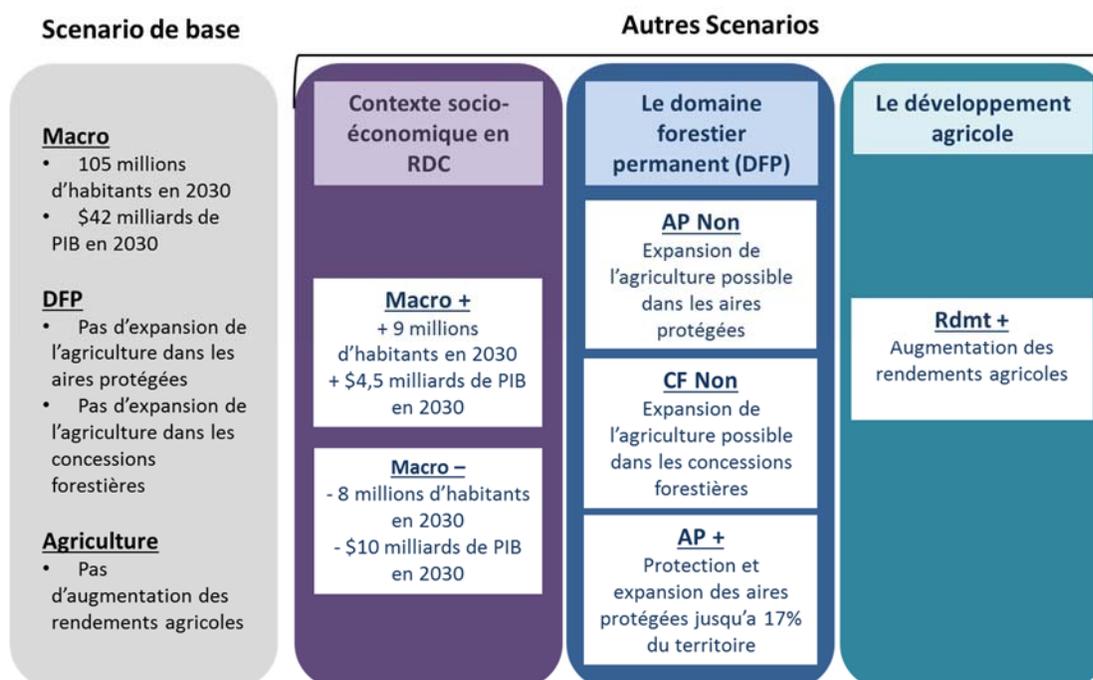


Figure 30 Les hypothèses du scénario de base sont présentées à gauche tandis que les changements introduits dans chaque scénario sont décrits à droite (un scénario par boîte blanche)

### 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 31)<sup>19</sup>. 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 31 Trajectoires 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 de la population modérées au niveau mondial : d'après ce scénario, la population mondiale devrait augmenter de 20% et le PIB moyen par habitant devrait augmenter de 50% d'ici à 2030. Nous remarquons cependant que les changements socio-économiques anticipés pour la RDC dans le SSP2 sont généralement beaucoup plus forts que la moyenne mondiale : la population de la RDC devrait plus que doubler entre 2000 et le PIB est multiplié par 5 entre 2000 et 2030 selon ces projections.

**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

<sup>19</sup> Ce travail a été réalisé en parallèle et en cohérence du travail des climatologues sur les futures conditions climatiques et les impacts du changement climatique relatifs à différents scénarios d'évolution des concentrations de gaz à effet de serre (GES), d'ozone et de précurseurs des aérosols pour le XXIe siècle au niveau mondial.

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 32). 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 de +2% dans Macro+ et de -18% dans Macro- pour la RDC. 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 chauffage (cf. section 3.4.1 ; Valin et al., 2014).

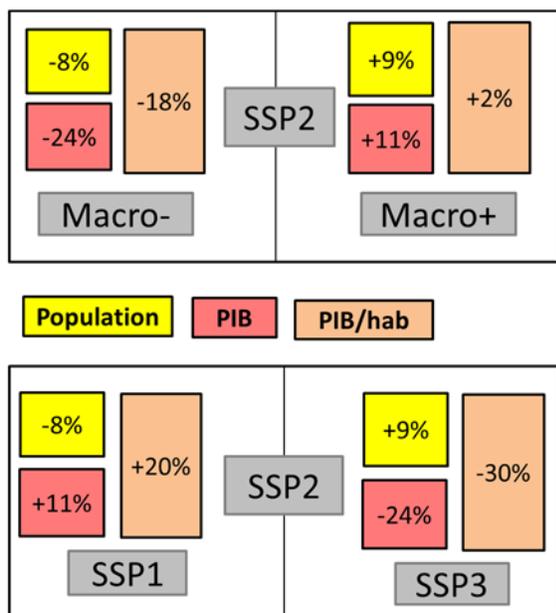


Figure 32 Hypothèses de changement de croissance du PIB, de croissance de la population et de croissance du PIB par tête dans les SSP1 et SSP3 par rapport au SSP2 et par construction pour les scénarios Macro+ et Macro- pour la RDC

Le régime alimentaire dans la RDC repose principalement sur la consommation de tubercules et de céréales (Figure 33). 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.

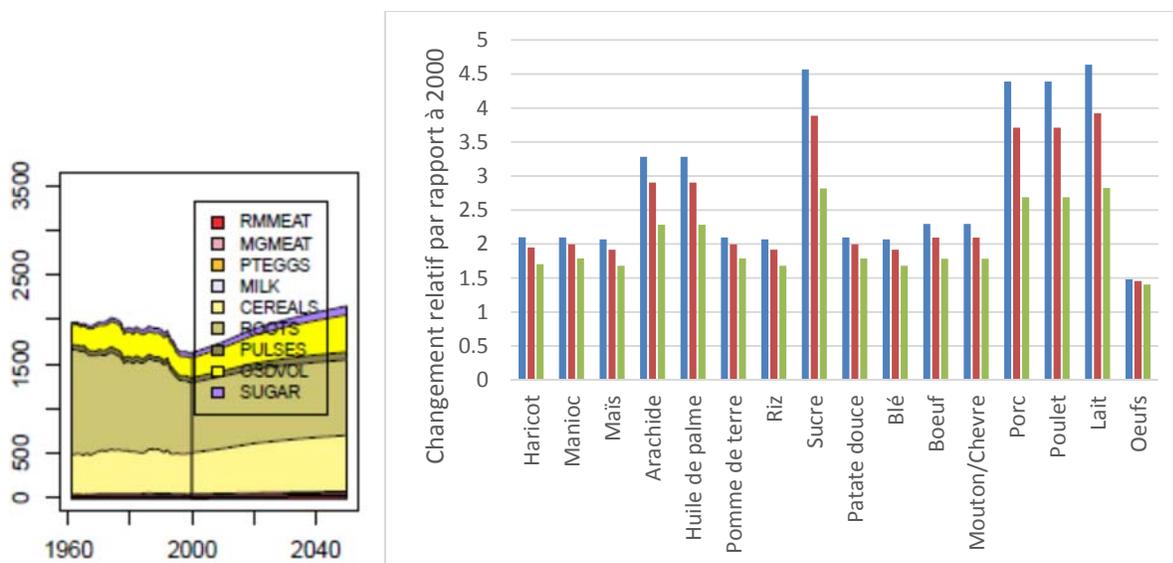


Figure 33. Evolution de la structure de la consommation alimentaire en RDC par groupe de produits dans le scénario de base (à gauche) et changement de la consommation de calories par produit alimentaire par habitant en 2030 par rapport à 2000 en RDC pour différents SSPs (à droite)

## 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 en RDC. 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

**Scénario « AP Non »** : L'effectivité de nombreuses aires protégées de la sous-région reste limitée, faute de moyens. Nous explorons les conséquences du non-respect des aires protégées sur la déforestation. C'est une situation extrême 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 la RDC 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 bénéfices 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 le 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

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 peut se poser. 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

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, Havlik, Mosnier, & Obersteiner, 2010). Cependant, en l'absence de statistiques fiables sur l'évolution des rendements agricoles, 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 (FAOSTAT). Ainsi, dans le scénario de base, nous faisons l'hypothèse qu'il n'y a pas de progrès technique permettant une amélioration généralisée des rendements en RDC dans les prochaines décennies c'est-à-dire que la seule possibilité d'augmenter les rendements agricoles dans le modèle est alors à travers l'utilisation d'engrais qui sont coûteux.

**Scénario « RDMT+ »** : nous utilisons une hypothèse alternative qui est une diffusion du progrès technique dans le secteur agricole avec la diffusion de semences améliorées par exemple.

Tableau 3 Taux de croissance des rendements agricoles dans le scénario RDMT+

	Taux sur la période 2000- 2030
Haricots	30%
Manioc	56%
Mais	183%
Arachide	55%
Palmiers a huile	73%
Pommes de terre	52%
Riz	119%
Canne a sucre	23%
Patate douce	16%

## 7 Validation du modèle sur la période 2000-2010

L'année de base du modèle GLOBIOM-RDC 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 2001-2010. 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 en RDC selon les différentes sources disponibles avec nos résultats puis nous comparons nos résultats avec les observations de surfaces cultivées et de production 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 « observée » selon différentes sources avec les estimations de GLOBIOM

Deux cartes de changements de la couverture forestière passée, produites sur la base de données de télédétection peuvent être utilisées pour le RDC: FACET et GFC aussi appelé la carte Hansen. Selon FACET la déforestation historique cumulée entre 2000 et 2010 a atteint 3,7 millions d’hectares tandis que selon Hansen, la déforestation historique était de 4,8 millions d’hectares sur la même période, ce qui représente 30% en plus de FACET. En termes de répartition spatiale de cette déforestation historique, les différentes sources s’accordent sur le poids important de la province Orientale et de l’Equateur dans la déforestation historique, suivies du Kasai Occidental et du Bandundu. Une plus grande incertitude est liée à la déforestation historique dans le Katanga qui s’élève à 700 milliers d’hectares selon Hansen mais seulement 373 milliers d’hectares selon FACET.

Avec GLOBIOM, nous estimons une déforestation de 3,7 millions d’hectares entre 2000 et 2010 ce qui est aussi la déforestation historique estimée par FACET. Si on regarde maintenant l’allocation géographique de cette déforestation nous remarquons que le modèle tend à surestimer la déforestation dans le Bandundu et la Bas-Congo et à sous-estimer la déforestation pour les provinces de l’Equateur, de la province Orientale et le Kasai Occidental (Figure 34). Pour le Katanga, le Maniema, les Kivus et le Kasai Oriental, nos estimations sont proches des observations de FACET et en-dessous de GFC.

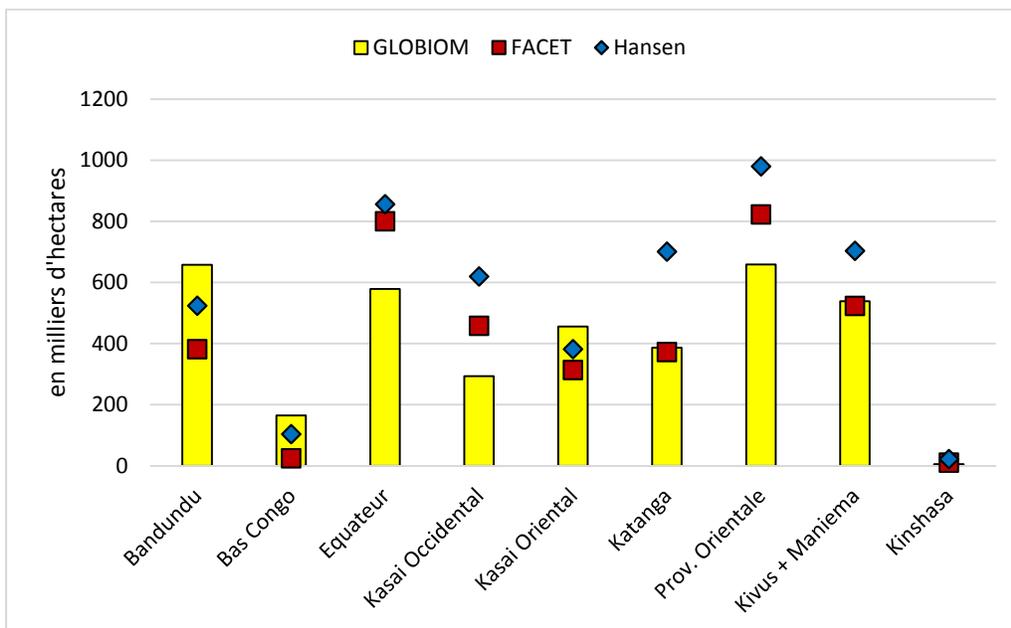


Figure 34 Comparaison de la déforestation historique moyenne par province entre 2000 et 2010 avec celle calculée par GLOBIOM

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. 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. 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 certains moteurs de la déforestation par le modèle ;
- des erreurs dans la représentation des liens entre secteur agricole et déforestation dans le modèle ;
- des erreurs de mesure de la déforestation historique

## 7.2 Evolution des surfaces cultivées et de la production par culture

Lorsque l'on analyse l'évolution des surfaces cultivées en RDC entre 2000 et 2010 d'après la FAO, on observe une stagnation voire une réduction des surfaces sur la période (Figure 35). Sachant que cette période a connu une forte augmentation de la population et que la guerre s'est terminée au début de la décennie, ces données ne semblent pas refléter la réalité. Cela a été confirmé par les participants à l'atelier que nous avons tenu à Kinshasa en janvier 2015. Leur perception était plutôt une augmentation de la consommation alimentaire par habitant sur la période. Comme nous avons vu précédemment, les statistiques nationales sont également calculées sur la base d'une hypothèse de taux de croissance. Il nous est donc difficile de confronter nos résultats de surfaces et de production agricoles avec les observations.

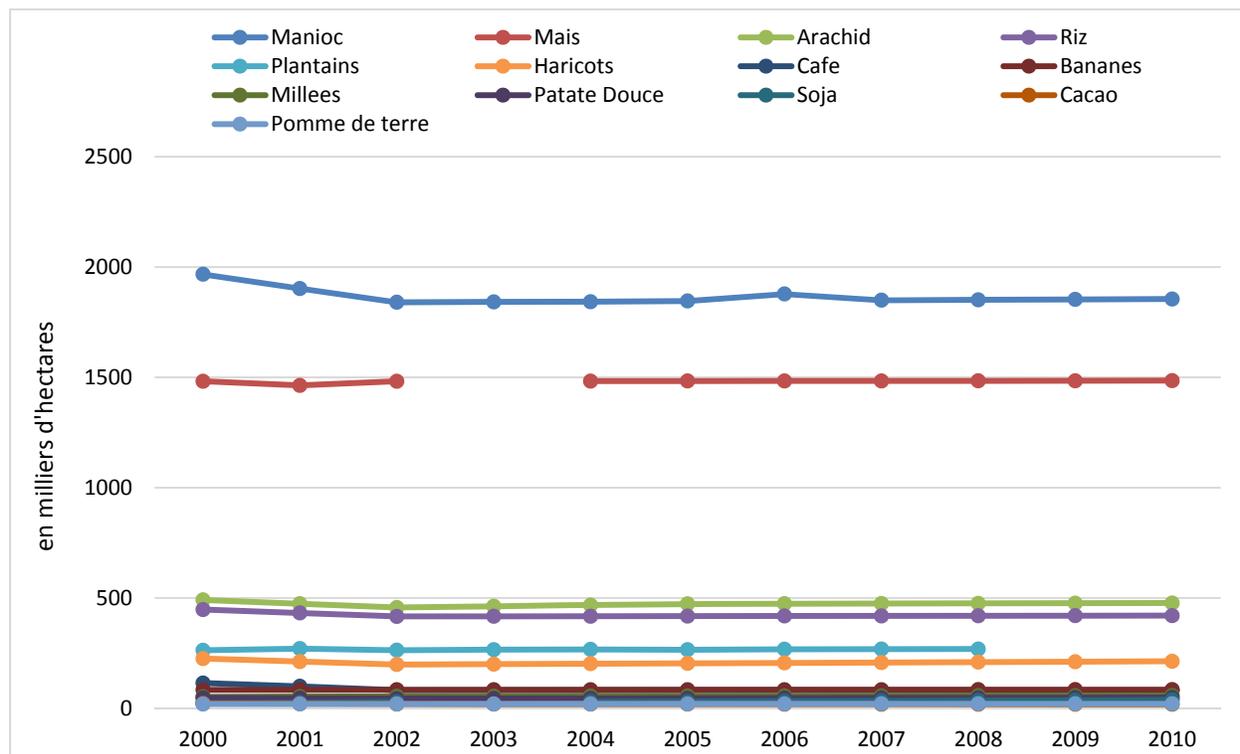


Figure 35. Evolution des surfaces récoltées en RDC entre 2000 et 2010 d'après la FAO

D'après nos résultats, 42% de la déforestation entre 2000 et 2010 est causée par l'expansion du manioc, 27% par le maïs et 12% par le riz au niveau national. On observe cependant des différences par province : dans les deux Kasai, c'est l'expansion du maïs qui est la première cause de déforestation et dans les Kivus, l'expansion de la culture de haricot est aussi une cause significative de déforestation, et l'expansion de la culture du riz est une cause de déforestation particulièrement pour le Maniema et la Province Orientale (Figure 36). La culture du palmier à huile entraîne un peu de déforestation dans la province de l'Equateur mais ce n'est pas la principale cause de déforestation sur la période 2000-2010, dans l'Equateur comme dans le reste du pays. Des informations sur l'évolution du bol alimentaire par province depuis 2000 pourraient également aider à valider ces résultats du modèle.

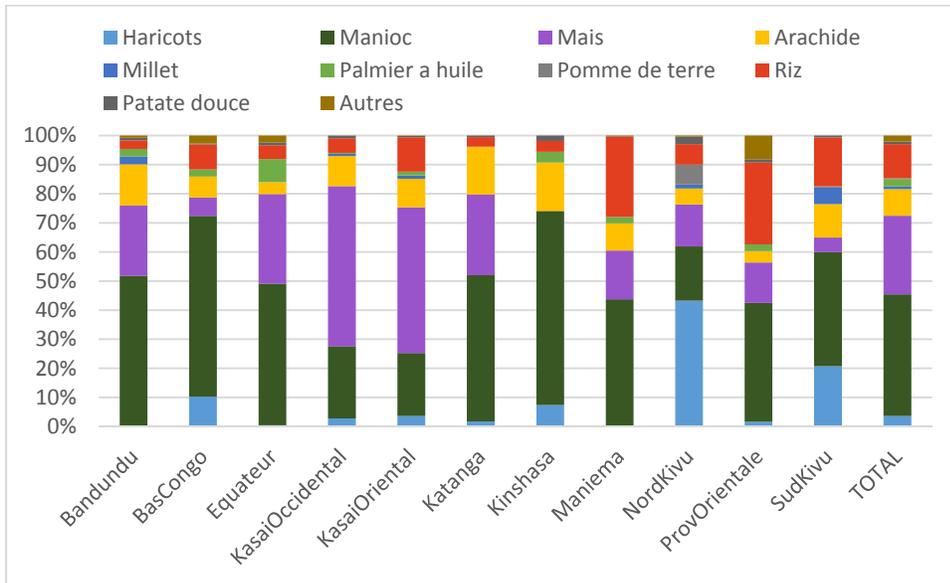


Figure 36 Causes de la déforestation calculée entre 2000 et 2010 par province et au niveau national selon les résultats du modèle

## 8 Résultats sur 2010-2030 dans le scénario de base

### 8.1 Déforestation et autres changements d'utilisation des terres

Dans la Figure 37, 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 le territoire de la RDC est fixe dans le temps (hypothèse qu'il n'y a 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 afin de satisfaire les besoins en terre pour la production de cultures: dans le scénario de base, la déforestation passe de 3.7 millions d'hectares entre 2000 et 2010 à 6,4 millions d'hectares entre 2020 et 2030, soit une augmentation de 72% (en vert sur la figure). La déforestation est seulement causée par l'expansion des cultures (en jaune) dans nos simulations. Nous remarquons que bien qu'il y ait 53 millions d'hectares de terres naturelles autres que les forêts en RDC, d'après nos résultats, l'expansion des cultures a davantage lieu dans la forêt. C'est seulement lors de la dernière période de simulation (2021-2030) que l'on observe une augmentation de la conversion de ces autres terres naturelles. Au total, ce sont 2,2 millions d'hectares de terres non forestières naturelles et 12 millions d'hectares de forêts qui sont converties en surfaces agricoles sur la période 2011-2030 en RDC.

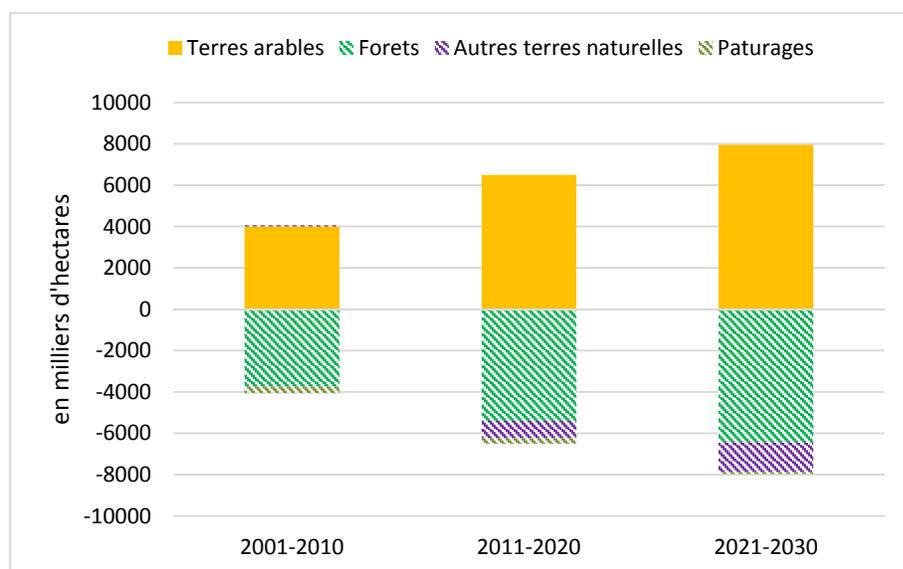


Figure 37 Gains et pertes nets de surfaces pour chaque type de végétation pour chaque période de simulation (période de 10 ans) en milliers d'hectares

Plus précisément, la part du manioc dans la déforestation totale augmente sur la période et représente presque deux-tiers de l'expansion des surfaces agricoles dans la forêt sur la période 2011-2030. De plus, tandis que le maïs était la deuxième cause de déforestation sur 2011-2020, sa part dans la déforestation totale diminue au cours du temps. On remarque cependant que ces surfaces comprennent également les surfaces en jachères qui sont associées aux cultures vivrières (Section 4.4.2). Ainsi en 2030, on estime qu'un peu plus de la moitié des terres arables sont des jachères. D'après les résultats du modèle, l'expansion des plantations de palmiers à huile pourrait devenir une cause importante de déforestation dans les prochaines décennies, particulièrement sur la période 2021-2030 où cela provoque un peu plus d'un million d'hectares de déforestation en RDC (Figure 38).

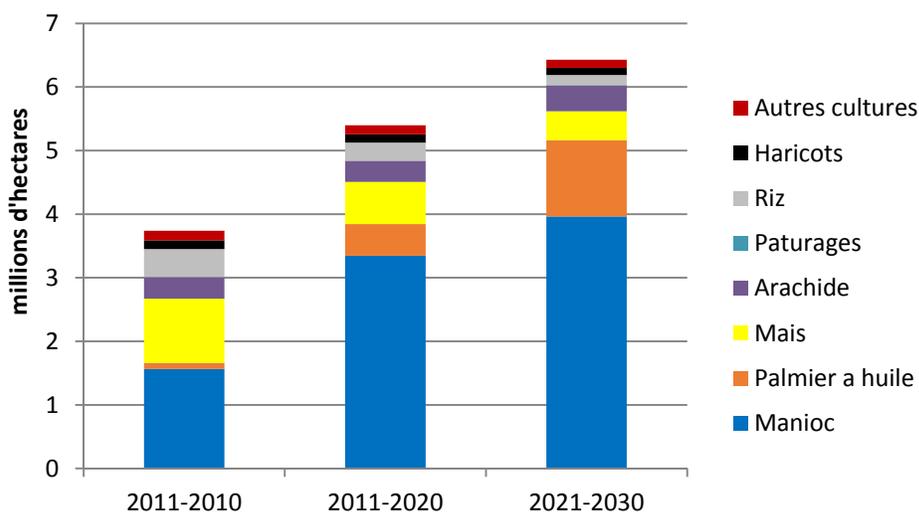


Figure 38 Projections de la déforestation par cause en RDC pour chaque période de simulation dans le scénario de base

Près d'un quart de la déforestation totale qui est prédite par le modèle entre 2011 et 2030 est localisée dans la province Orientale où elle est principalement expliquée par l'augmentation des surfaces cultivées en manioc et des plantations de palmiers à huile<sup>20</sup>. Le Bandundu connaît également une forte déforestation principalement du fait de l'expansion de la culture de manioc, et dans une moindre mesure du maïs et de l'arachide. D'après nos résultats il pourrait y avoir une forte expansion des plantations de palmiers à huile dans le Maniema. Enfin, alors que le Katanga

<sup>20</sup> Les cartes de la déforestation future simulées avec le modèle peuvent être visualisées sur le site <http://rdc.moabi.org/fr/>.

représentait 10% de la déforestation totale calculée entre 2001 et 2010, sa part passe à 14% sur la période 2011-2030 (Figure 39).

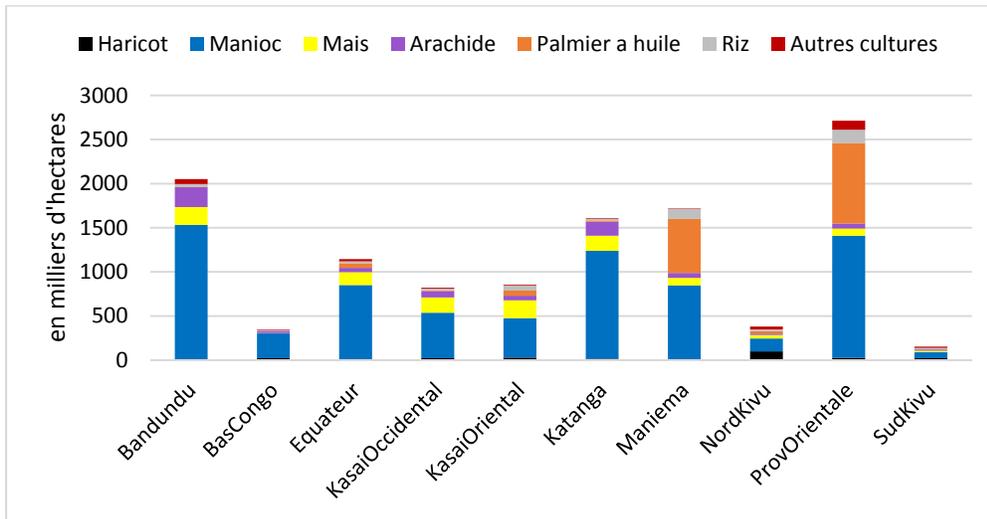


Figure 39 Décomposition de la déforestation calculée entre 2011 et 2030 par cause pour chaque province

## 8.2 Production et consommation agricole

D’après nos résultats, il y a une forte augmentation de la consommation alimentaire par habitant en RDC dans les prochaines décennies : la consommation moyenne de calories par habitant par an augmente de 70% entre 2010 et 2030. La production de calories augmente également sur la période en RDC mais moins rapidement que la consommation ce qui entraîne une augmentation de la part de calories consommées qui sont importées (Figure 40). L’augmentation des importations est encore plus forte pour les calories d’origine animale qui représentent plus de 80% de la consommation en 2030. Les importations de manioc augmentent mais ne représentent que 4% de la consommation totale en 2030. Par contre, d’après nos résultats, les importations représentent plus de la moitié des volumes consommés en RDC en 2030 pour le riz et le maïs, et la consommation de sucre et de blé aussi en forte augmentation sur la période est exclusivement satisfaite par les importations. Nous avons vu précédemment qu’il y avait une forte expansion des palmiers à huile dans les prochaines décennies. Ainsi, la RDC n’a plus besoin d’importer de l’huile de palme après 2020. La valeur du déficit commercial de la RDC en produits agricoles est multipliée par 3,7 entre 2012 et 2030. La faisabilité d’une telle situation dépend cependant de la capacité de la RDC à augmenter ses exportations dans d’autres secteurs.

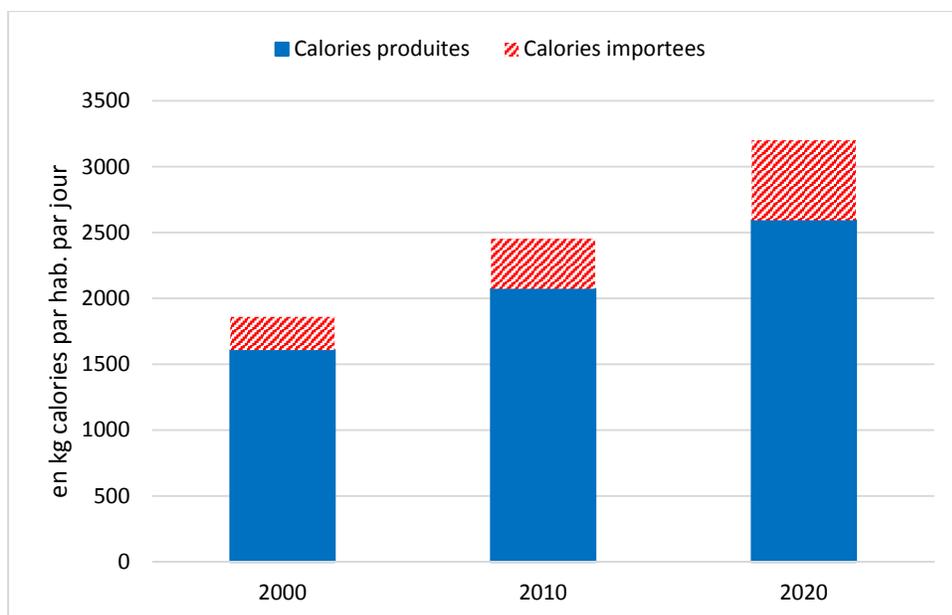


Figure 40 Evolution de la production locale et d'importations de calories d'origine végétale par habitant par an

### 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 15 millions d'hectares de forêts exploitées en RDC en 2030 (cf. section 4.4.1). Comme nous ne représentons pas de changement de gestion des concessions forestières, la production de grumes reste similaire à ce qu'elle est actuellement c'est-à-dire 310 000 m<sup>3</sup>. On remarque que les statistiques de production de grumes sont particulièrement basses pour la RDC quand on compare avec les autres pays du Bassin du Congo : en République du Congo, la production de grumes atteint 1,5 millions de m<sup>3</sup> pour à peu près la même surface sous concessions, soit presque cinq fois plus.

La production de bois de chauffe passe de 90 millions de m<sup>3</sup> en 2010 à 150 millions de m<sup>3</sup> par an en 2030 afin de satisfaire la demande en énergie de la population de RDC. Dans nos simulations, le bois de chauffe provient principalement des jachères agricoles. La dégradation des forêts liée au bois de chauffe n'est 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 en RDC : Saatchi (Saatchi et al. 2011), Baccini (Baccini et al., 2012), FRA2010 (G. Kindermann, McCallum, Fritz, & Obersteiner, 2008) et Avitabile (Avitabile et al., 2016). Nos

résultats montrent des émissions issues de la déforestation entre 5 et 8,5 gigatonnes de CO<sub>2</sub> sur la période 2011-2030. Les émissions issues de la déforestation augmentent entre 73% et 88% entre 2010 et 2030 selon la carte de biomasse utilisée. Le choix de la carte de biomasse mène à une différence de 70% des émissions issues de la déforestation au niveau national sur la période 2011-2030 (Figure 41).

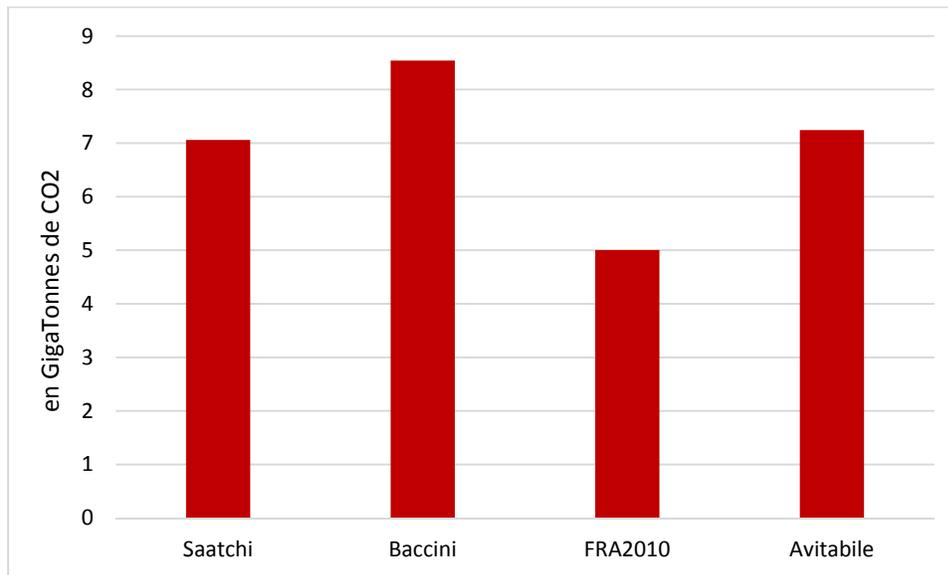


Figure 41 Emissions issues de la déforestation totale projetée pour la RDC entre 2011 et 2030 en utilisant différentes cartes de biomasse

L'intensité moyenne en carbone que l'on obtient (ou facteur d'émission par hectare) varie entre 115 et 197 tC/ha sur la période 2011-2030 selon la carte de biomasse utilisée (Tableau 4). C'est plus élevé que la densité en carbone estimée dans la littérature pour la déforestation historique sur 2000-2010 pour la RDC (Harris et al., 2012) où la valeur médiane était de 128 tC/ha.

Tableau 4. 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 tCO <sub>2</sub> /ha	Saatchi	575	591	602	<b>597</b>
	Baccini	682	706	735	<b>722</b>
	FRA 2010	420	421	425	<b>423</b>
	Avitabile	572	595	627	<b>612</b>
en tC/ha	Saatchi	157	161	164	<b>163</b>
	Baccini	186	193	200	<b>197</b>
	FRA 2010	115	115	116	<b>115</b>
	Avitabile	156	162	171	<b>167</b>

En RDC, nous avons vu que la production officielle de grumes dans les concessions forestières est assez faible. Comme nous calculons les émissions liées à la dégradation liée à l'exploitation en fonction des grumes sorties et non pas des surfaces sous concessions, les émissions que l'on obtient sont donc assez faibles avec 40 millions de tCO<sub>2</sub> entre 2011 et 2030. Pour rappel, les émissions du secteur agricole comprennent ici le méthane issu de la culture du riz, l'azote utilisé comme engrais dans les cultures et le méthane et l'azote liés à l'élevage. D'après nos calculs, les émissions issues du secteur agricole représentent 13 millions de tCO<sub>2</sub> sur la période 2011-2030. Ensuite en utilisant la carte de biomasse de Avitabile et al., on obtient des émissions de 535 millions de tonnes CO<sub>2</sub> dues à la conversion des autres terres naturelles en terres agricoles. Mais la somme de ces autres sources reste faible par rapport aux émissions issues de la déforestation sur la période 2011-2030 (Figure 42).

**Les émissions totales issues de la conversion des terres naturelles en terres agricoles et de l'exploitation forestière en RDC sont estimées à 7,8 gigatonnes de CO<sub>2</sub> sur la période 2011-2030.**

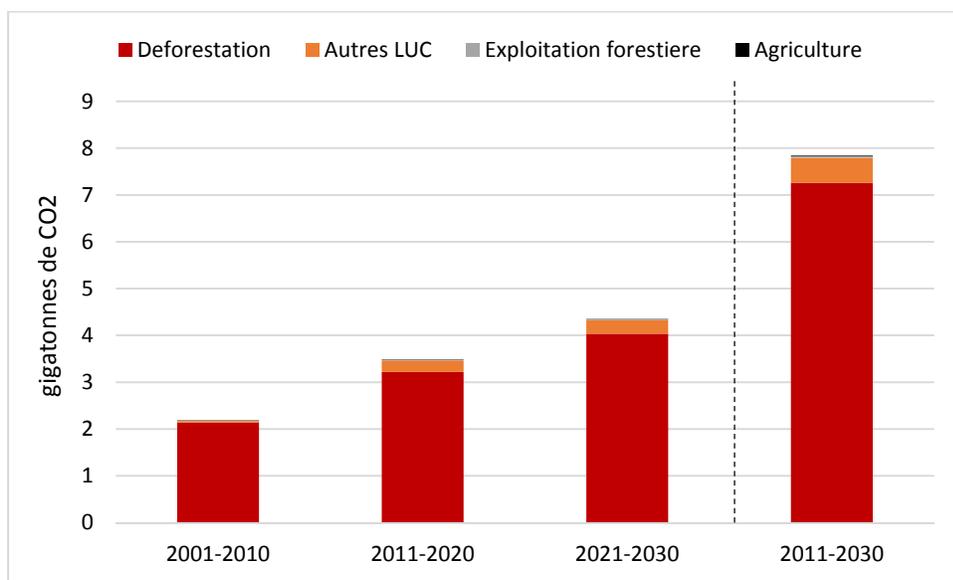


Figure 42 Emissions par source par période de 10 ans et cumulées sur la période 2011-2030 en RDC

## 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. La Figure 43 présente le pourcentage de la superficie totale de l'écorégion qui est en mutation. On remarque que le changement d'utilisation des terres qui est projeté et les pressions sur la biodiversité qui en résultent, ne sont pas répartis uniformément entre les différents écosystèmes de la RDC : par exemple, pour les forêts montagneuses du rift

Albertine, il y a une augmentation de la proportion des terres cultivables et des pâturages, et une diminution correspondante de la forêt vierge et des terres naturelles couvrant un total de 15% de la superficie de l'écorégion. Les principaux moteurs du changement de l'utilisation des terres ne sont également pas les mêmes dans les différentes écorégions. Les forêts marécageuses de l'est congolais et forêts de plaine du centre congolais devraient selon les projections, perdre la plupart des non exploitées à travers leur conversion en forêts exploitées. Cependant, dans d'autres écorégions, une part importante des terres naturelles devraient être converties en terres cultivées. Ainsi, 15% de la surface de l'écorégion Forêts de montagne du rift Albertine est convertie en terres cultivées sur la période 2011-2030. 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 forêt non exploitée en forêt exploitée.

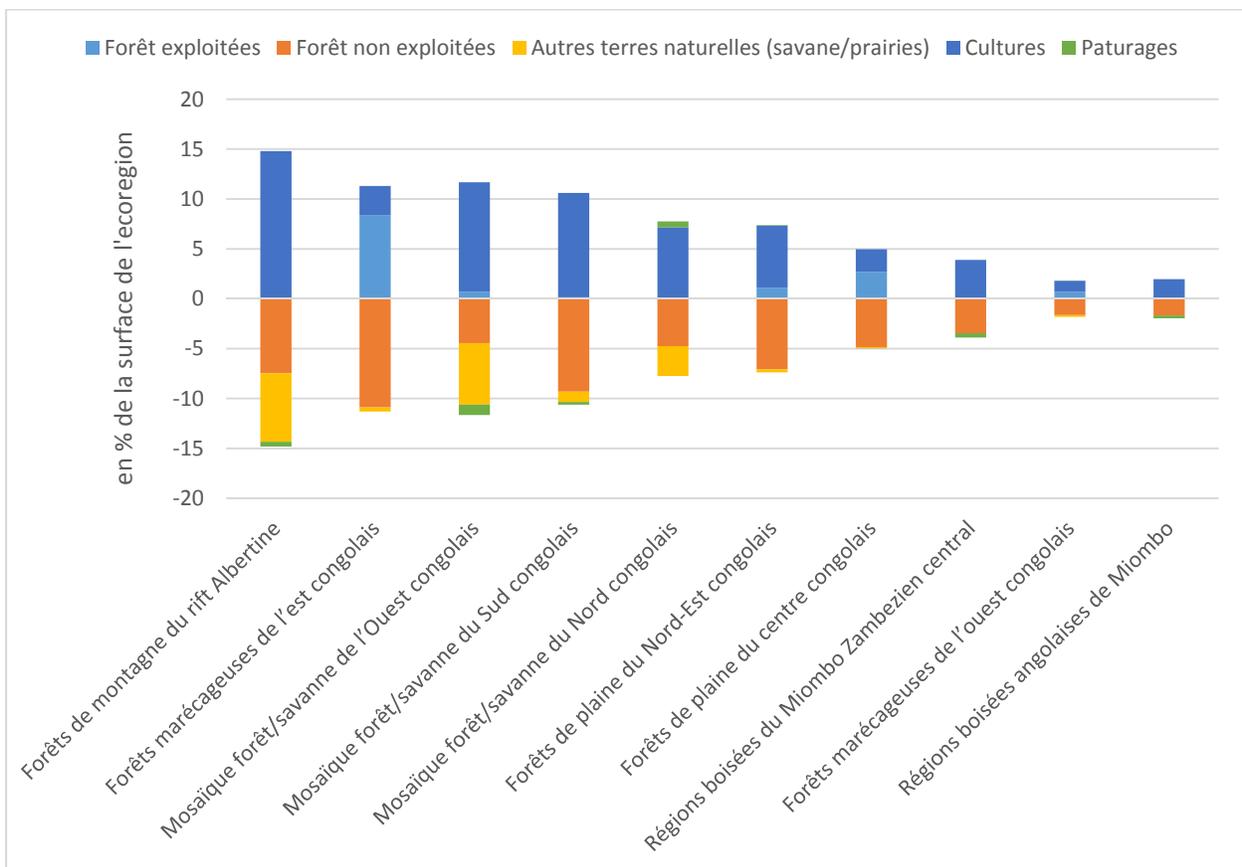


Figure 43 Variation totale de l'utilisation des terres sur la période 2011-2030 dans les écorégions de la RDC.

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 base (Figure 44). Le modèle prédit une perte d'habitat particulièrement importante pour les grands singes dans l'Est du pays mais la perte totale est inférieure à cinq 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.

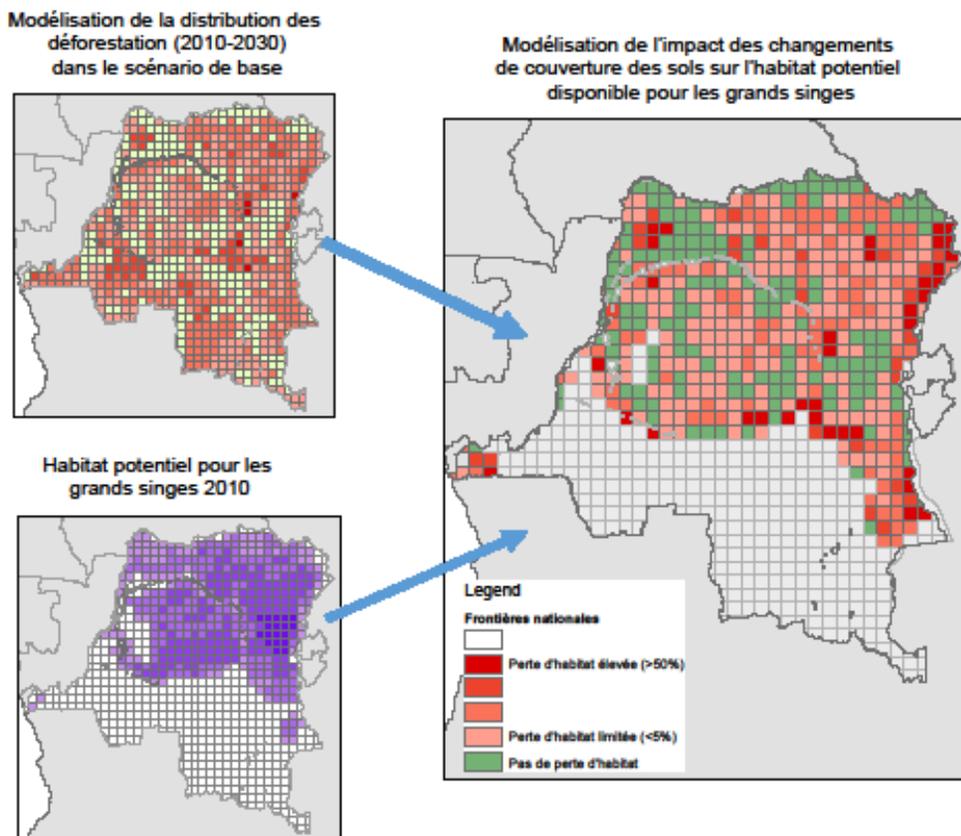


Figure 44 Modélisation de l'impact de la déforestation sur l'habitat potentiel pour les grands singes par unité de simulation (cartes de gauche en milliers d'hectares).

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 336 des 1698 espèces évaluées pourraient perdre plus de 10% de leur habitat potentiel disponible dans le pays dans le scénario de base, et 37 pourraient perdre plus de 30% de leur habitat potentiel disponible. Selon la liste rouge mondiale de l'UICN, la perte de plus de 30% de l'habitat est un critère pour identifier les espèces menacées d'extinction. De plus, 23 des 336 espèces qui perdent plus de 10% de leur habitat potentiel sont globalement menacées et 9 sont protégées par la loi. La combinaison des informations sur la proportion d'habitat perdu pour chaque espèce dans une aire produit un indice sur la perte totale d'habitat dans les différentes

zones, la perte sera plus grande dans les aires où il y a à la fois une grande quantité de conversion et un grand nombre d'espèces qui perdent leur habitat. On remarque que les zones les plus touchées dans le scénario de base sont l'Est de la RDC à la frontière avec l'Ouganda, le Rwanda et le Burundi et le Bas-Congo (Figure 45). On observe aussi des gains à certains endroits, mais ils sont généralement très faibles et principalement dus à l'abandon de certaines terres cultivées où la végétation naturelle revient peu à peu au cours de la période 2011-2030.

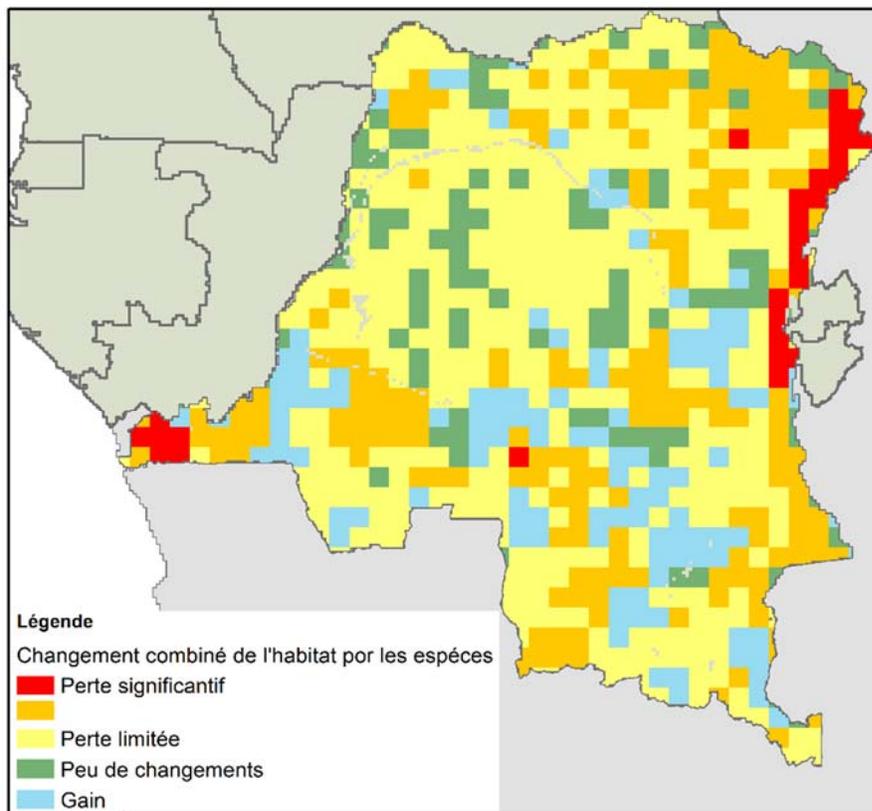


Figure 45 Carte de l'impact combiné de la perte d'habitat des espèces de 2010 à 2030 pour l'ensemble des espèces, pondérée par l'endémisme relatif de chaque espèce.

## 9 Résultats pour les scénarios alternatifs

### 9.1 Déforestation et autres changements d'utilisation des terres

La déforestation totale entre 2011 et 2030 en RDC varie entre 8,6 et 13,4 millions d'hectares soit une réduction de la déforestation de 27% ou une augmentation de 13% par rapport au scénario de base (Figure 46). Le scénario le plus pessimiste est celui où il pourrait y avoir une croissance plus forte de la population et de l'économie (Macro+). Les autres scénarios qui entraînent une augmentation des pressions sur les forêts de la RDC sont le non-respect des aires protégées (AP\_Non) et le non-respect des concessions forestières (FC\_Non) bien que d'après nos résultats, l'augmentation de la déforestation reste faible dans ces scénarios. Pour les facteurs qui pourraient conduire à une plus faible déforestation dans les prochaines décennies il y a l'expansion des aires protégées sur un critère carbone (AP+Carb), une plus faible croissance démographique et économique (Macro-) et l'amélioration des techniques de production agricoles (Rdmt+). On remarque toutefois que seulement trois scénarios conduisent à des variations de la déforestation supérieures à 5% : l'amélioration des rendements agricoles (-27%) et une plus faible croissance de la population et de l'économie (-15%) et une plus forte croissance démographique et économique (+13%).

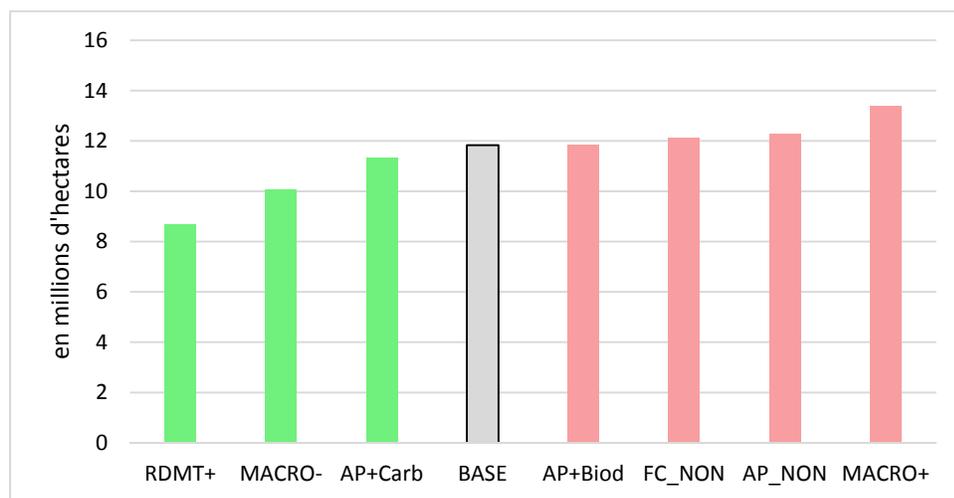


Figure 46 Déforestation totale cumulée sur la période 2011-2030 selon différents scénarios : les scénarios en vert réduisent la déforestation future par rapport au scénario de base tandis que les scénarios en rouge augmentent la déforestation future

On observe également peu de variation entre les scénarios pour la réduction des surfaces des terres naturelles autres que forêts (Figure 47). Le minimum est de 2,3 millions d'hectares convertis dans le scénario dans les scénarios de plus faible croissance économique et démographique (Macro-) et en cas de non-respect des aires protégées (AP\_Non) et le maximum est de 2,7 millions d'hectares dans le scénario d'expansion des aires protégées sur un critère carbone (AP+Carb) et une plus forte croissance économique et démographique (Macro+) (Figure 46). Cela illustre cependant les

déplacements potentiels de certaines politiques. En effet, cela peut paraître surprenant que le non-respect des aires protégées existantes ait un impact positif sur la surface totale des autres terres naturelles alors que l'expansion des aires protégées sur un critère carbone entraîne un impact négatif. En fait dans le premier scénario, plus de terres forestières deviennent accessibles pour la conversion en terres agricoles. Comme la fertilité des terres est souvent meilleure par rapport aux savanes, les cultivateurs vont préférer aller plus dans la forêt et moins dans les savanes pour la même surface cultivée. C'est le même mécanisme qui s'applique dans le deuxième scénario sauf que dans ce cas-là, plus de forêts deviennent protégées et donc moins accessibles car elles sont plus riches en carbone que les autres terres naturelles. Les cultivateurs vont donc se replier sur les autres terres naturelles. On remarque également une légère augmentation des surfaces en pâturage dans le scénario d'amélioration des rendements (Rdmt+). Cela peut être la conséquence de deux facteurs : l'augmentation des rendements permet de réduire les surfaces cultivées, plus de terres sont donc disponibles pour l'élevage et le prix des cultures qui peuvent servir à alimenter le bétail baisse ce qui rend l'élevage plus intéressant économiquement.

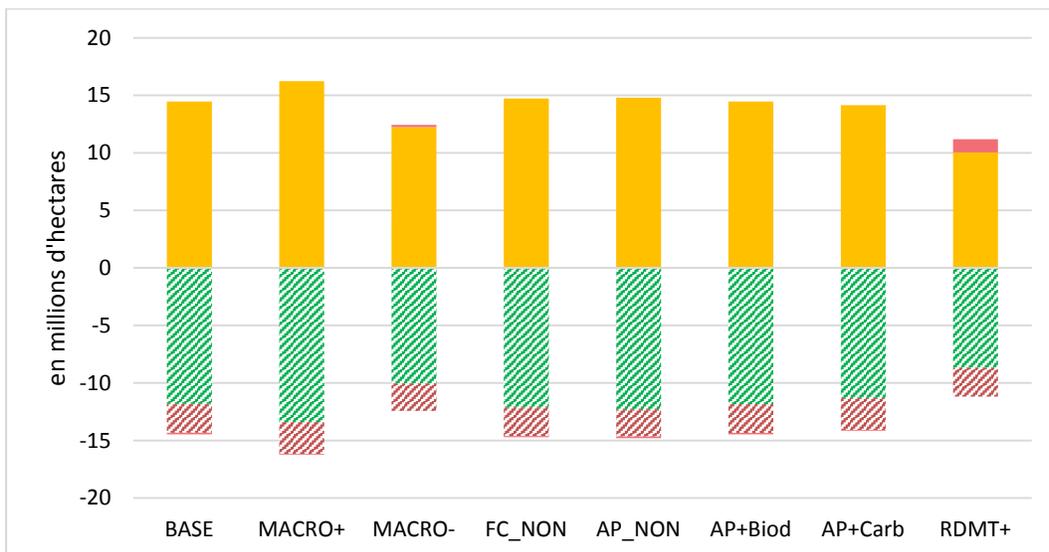


Figure 47 Conversion ou expansion des différents types d'occupation des sols sur la période 2011-2030 pour chaque scénario. Comme la surface de terre totale est fixe, la somme de ces changements est égale à zéro pour chaque période.

## 9.2 Production et consommation agricole

La production agricole va dans le même sens que la demande. Ainsi, lorsque la consommation alimentaire est tirée à la hausse par une population plus nombreuse et/ou plus riche (Macro+) la production augmente, et lorsque la population est moins nombreuse et/ou moins riche (Macro-) la production agricole diminue. De même, lorsque moins de terres peuvent être utilisées pour l'agriculture du fait de l'expansion des aires protégées (AP+Biod et AP+Carb), la production tend à diminuer et lorsque plus de terres peuvent être utilisées suite au non-respect des concessions

forestières (FC\_Non) ou des aires protégées (AP\_Non), la production agricole tend à augmenter. Enfin, une augmentation des rendements agricoles en augmentant la production par hectare, tend à augmenter la production agricole.

On retrouve ces mêmes évolutions dans la production de calories par habitant (Figure 48) sauf pour le scénario Macro+ où l'augmentation de la production n'est pas aussi forte que l'augmentation de la population, ce qui résulte en une réduction de la production de calories par habitant. On remarque que la consommation moyenne de calories d'origine végétale par habitant en 2030 varie assez peu entre les scénarios. Mais on peut remarquer deux résultats intéressants : dans le scénario Macro-, la dégradation des revenus (chute du PIB par habitant de 18%, voir Section 6.1) entraîne une contraction de la consommation alimentaire qui est d'abord répercutée sur les importations (-17%), ce qui limite la réduction de la production locale à 2,4%. On remarque également que l'augmentation des rendements agricoles conduit à 1) une augmentation de la consommation alimentaire (+8%) du fait de la baisse des prix des produits agricoles et 2) une réduction des importations alimentaires (-63%). Ces deux effets combinés conduisent à une augmentation de la production locale de calories végétales par habitant de 25% en 2030 par rapport au scénario de base. On observe également une augmentation de la production de calories par habitant d'origine 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 et une moins forte compétition pour les terres.

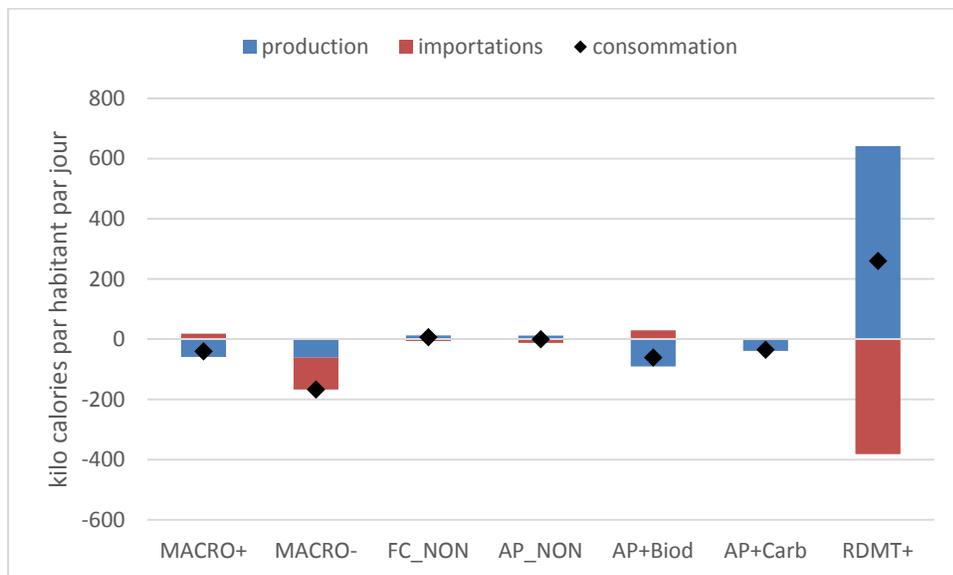


Figure 48 Impact des différents scénarios sur la production, les importations et la consommation moyenne de calorie d'origine végétale par habitant en 2030

### 9.3 Emissions

Les émissions issues de la déforestation sur la période 2011-2030 varient entre 3,6 et 9,8 gigatonnes de CO<sub>2</sub>, soit une variation entre -32% et +15% par rapport au scénario de base (Figure 49). 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) et de forte croissance économique et démographique (Macro+) ce qui sous-entend que la déforestation a lieu dans des forêts particulièrement denses en carbone dans ces scénarios.

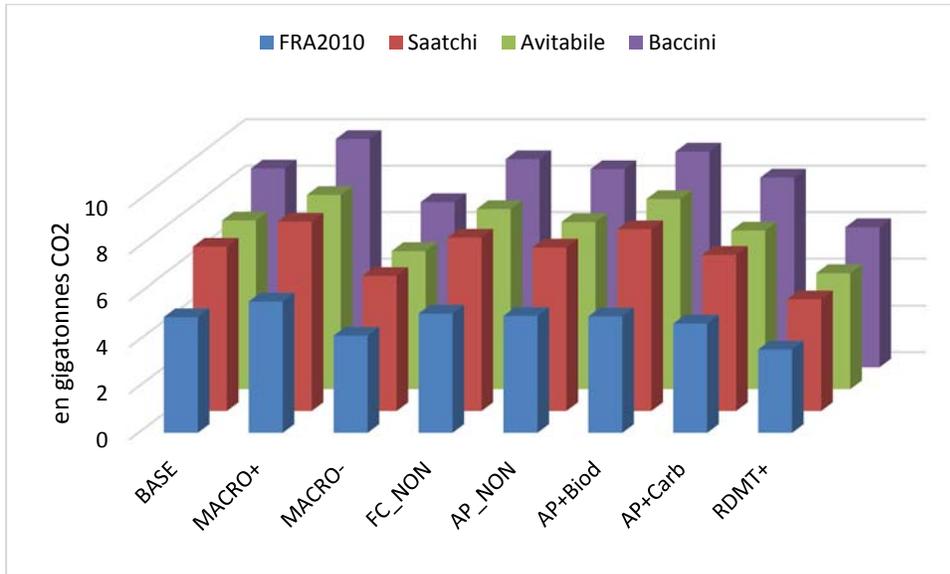


Figure 49 Variation des émissions issues de la déforestation sur la période 2011-2030 selon le scénario et la carte de biomasse utilisée

### 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 50 montre l'impact total sur l'habitat du gorille de montagne (*Gorilla beringei*), du chimpanzé (*Pan troglodytes*) et du bonobo (*Pan paniscus*). Le non-respect des aires protégées et le scénario Macro+ 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 existantes soient effectivement gardées.

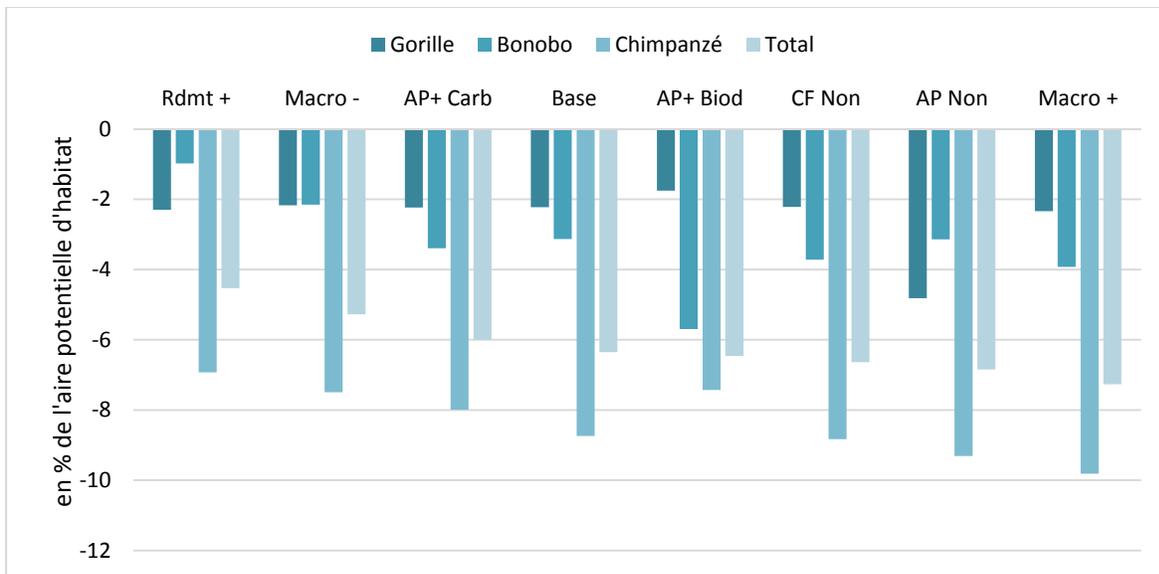


Figure 50 Impact des différents scénarios sur la perte d'habitat potentiel pour les grands singes 2030.

Lorsque l'on regarde toutes les espèces confondues, le scénario qui projette une perte d'habitat pour le plus grand nombre d'espèces est le scénario de non-respect des aires protégées. Dans ce scénario, on estime que plus de 200 des 1698 espèces évaluées, perdraient plus de 20% de leur habitat (Figure 51), et plus de 100 espèces perdraient plus de 30% de leur habitat à l'intérieur de la RDC. Une perte de l'habitat de plus de 30% est susceptible de rendre ces espèces vulnérables à l'extinction selon les critères d'évaluation de l'UICN. Parmi les espèces qui perdent plus de 30% de leur habitat potentiel, 16 sont déjà menacées d'extinction et 4 sont protégés par la loi.

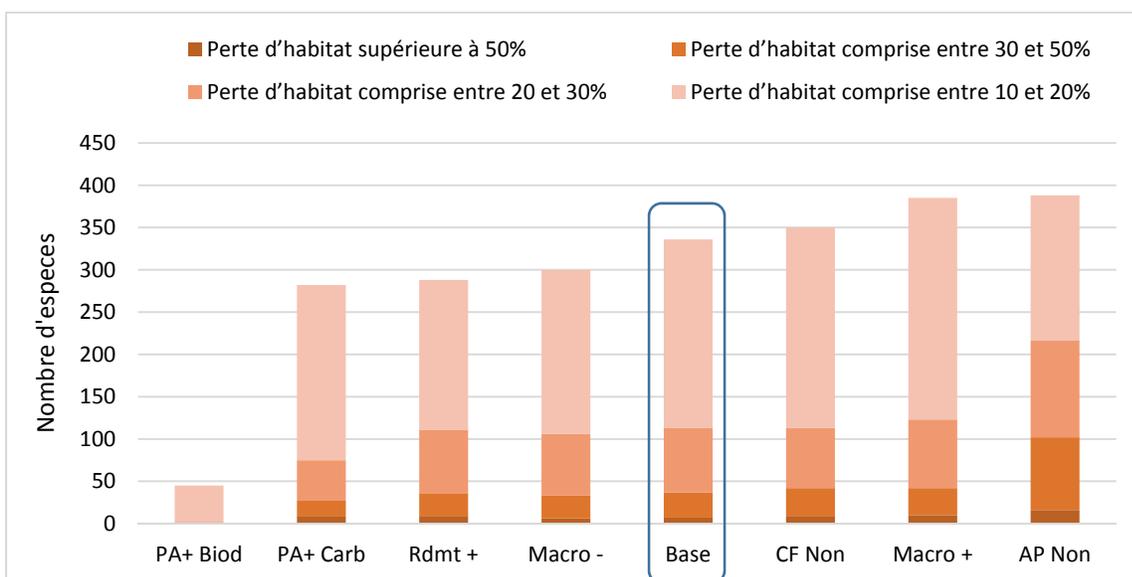
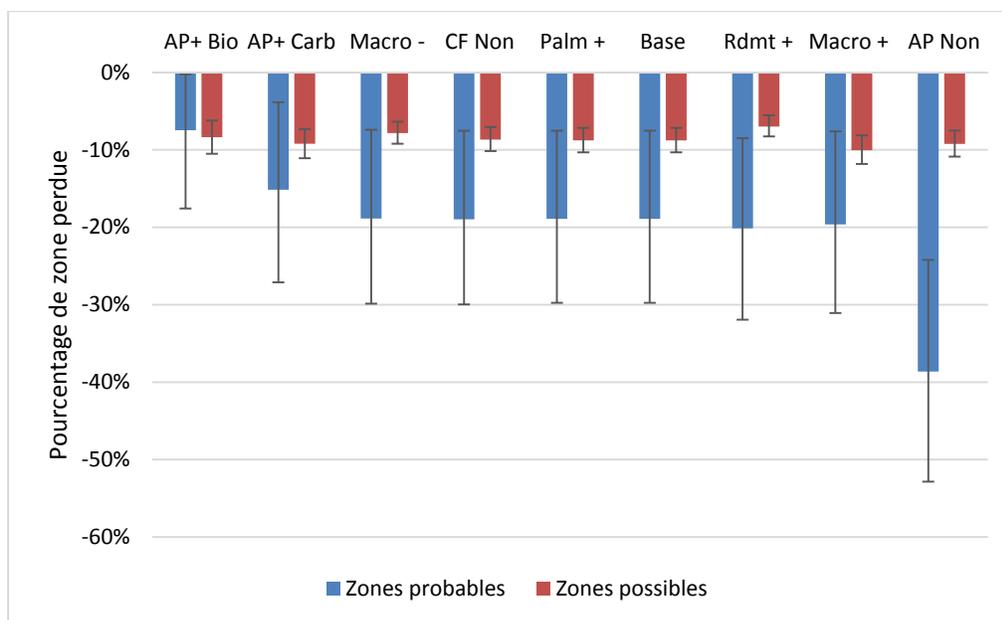


Figure 51 Nombre d'espèces l'habitat potentiel est converti à d'autres usages sur la période 2010-2030

Les scénarios dans lesquels la perte d'habitat des espèces est la moindre 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. Parmi les scénarios modélisés, le scénario dans lequel les aires protégées sont étendues seulement sur la base du critère de l'habitat des espèces les plus menacées (AP+Biod), conduit sans surprise à la plus grande réduction de la perte d'habitat de toutes les espèces. C'est également le seul scénario qui empêche une perte d'habitat de plus de 30% 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 «AP+Biod » réduit la perte de Gorille et Chimpanzé habitat, mais augmente la perte de l'habitat du bonobo. Le scénario fondé sur les critères de biodiversité alloue l'expansion des aires protégées sur la base des pressions futures sur l'habitat d'un large éventail d'espèces, y compris les espèces non forestières, et ces critères peuvent ne pas être les plus efficaces pour protéger l'habitat des grands singes qui tend plutôt à coïncider avec les zones de forêt dense à teneur élevée en carbone. Cela met en évidence les arbitrages éventuels à réaliser entre le but de protéger un large éventail d'espèces et celui de se concentrer sur des espèces ou services écosystémiques particuliers.

En termes des impacts sur les services écosystémiques, le scénario de non-respect des aires conduit à la plus forte déforestation dans les zones où la présence de *Prunus Africana* est probable tandis que le scénario d'expansion des aires protégées sur un critère de biodiversité conduit à l'impact le moins fort. Bien que la distribution d'autres services écosystémiques y compris d'autres produits forestiers non ligneux puisse être différente de celle du *Prunus*, nos résultats montrent le rôle considérable que les aires protégées peuvent jouer dans la protection des écosystèmes. Les grandes barres d'erreur dans la Figure 52 montrent l'incertitude liée à l'emplacement des changements d'utilisation des terres à l'intérieur des unités de simulation de 50x50km, selon si la perte de forêts se produit d'abord dans les zones de présence du *Prunus* ou dans des forêts où le *Prunus* n'est pas présent d'abord.



Les barres d'erreur montrent l'incertitude de la localisation de la déforestation dans les zones de présence du prunus à l'intérieur d'une cellule de 50x50km.

Figure 52 L'impact de différents scénarios sur l'aire de répartition possible et probable du prunus en pourcentage de la surface qui est touché par la déforestation.

## 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.* » La RDC fait malheureusement partie de ces pays. Néanmoins, il y a eu des progrès dans les dernières années pour conduire de nouvelles enquêtes et partager les résultats de manière transparente.

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 faim<sup>21</sup> (Objectif 2)** : les cibles sont notamment de doubler la productivité agricole et les revenus des petits producteurs d'ici 2030, et d'assurer la viabilité des systèmes de production alimentaire et mettre en œuvre des pratiques agricoles résilientes qui contribuent à la préservation des écosystèmes, renforcent les capacités 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

---

<sup>21</sup> <http://www.un.org/fr/zerohunger/#&panel1-1>

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 de la RDC 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 5. 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.	Importations nettes	Emissions totales	Emissions issues de la déforestation	Perte d'habitat des grands singes	Nombre d'espèces qui perdent > 10% de leur habitat
<b>BASE</b>	2592	-6919	7802	7243.0	6.4%	336
<b>MACRO+</b>	-2.3%	14.8%	14.7%	15.2%	14.4%	14.6%
<b>MACRO-</b>	-2.4%	-25.3%	-18.1%	-18.2%	-16.9%	-10.7%
<b>AP Non</b>	0.5%	-1.9%	1.5%	-0.9%	7.8%	15.5%
<b>CF Non</b>	0.5%	-1.0%	7.7%	6.8%	4.5%	4.2%
<b>AP+ Biod</b>	-3.5%	6.0%	14.8%	12.8%	1.7%	-86.6%

<b>AP+ Carb</b>	-1.5%	1.6%	-2.1%	-5.9%	-5.6%	-16.1%
<b>RDMT +</b>	24.8%	-26.8%	-30.5%	-31.3%	-28.7%	-14.3%

D'après nos résultats, l'augmentation de la productivité agricole est le seul scénario qui permet d'améliorer tous les indicateurs à la fois en termes de développement agricole, d'atténuation du changement climatique et de conservation de la biodiversité (ligne complètement verte dans le Tableau 5). A 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 (ligne complètement rouge dans le Tableau 5). 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 le non-respect des concessions forestières et des aires protégées, 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 sur un critère de carbone.

## 11 Discussion des résultats

Nous discutons ici les facteurs qui pourraient affecter nos résultats et potentiellement mener à des résultats différents.

### 11.1 L'agriculture

L'expansion de l'agriculture vivrière est principalement causée par l'augmentation de la population rurale qui vit de l'autosubsistance. Nous représentons cela dans le modèle par des contraintes de croissance de la production locale pour au moins satisfaire la croissance de la population rurale. Cependant, les seules données disponibles sur la population en RDC reposent sur des hypothèses de projection de la population depuis le dernier recensement de la population qui a eu lieu en 1984. La répartition actuelle de la population sur le territoire congolais peut être en réalité assez différente. En effet, entre 1996 et 2003, les guerres civiles ont causé près de 4 millions de morts et de nombreux déplacés. Des réfugiés sont également venus en RDC depuis les pays voisins pour échapper aux conflits dans leur pays, notamment du Rwanda, de l'Angola et de la République Centrafricaine. Le Haut-Commissariat des Nations Unies sur les Réfugiés estimait en décembre 2016 que 2,7 millions de personnes étaient déplacées à l'intérieur de la RDC plus 60000 réfugiés issus d'autres pays et près d'un million de personnes de retour sur leurs terres après déplacement à l'intérieur ou à l'extérieur de la RDC. Ces mouvements de personnes ont certainement un impact important sur le couvert forestier suite à l'installation des populations sur de nouvelles terres. Cela peut peut-être expliquer en partie les divergences entre nos résultats et la déforestation observée entre 2000 et 2010 en RDC dans la province Orientale notamment.

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, Stevenson, & Villoria, 2014; Hertel, Ramankutty, & Baldos, 2014; Rudel et al., 2009). Le mécanisme économique sous-jacent est qu'une augmentation de la productivité tend à faire diminuer le coût de production par unité et donc le prix des denrées agricoles. Ces prix plus bas stimulent la consommation qui peut augmenter potentiellement plus que ce qui peut être atteint par la seule augmentation de productivité par hectare, menant alors à une augmentation des surfaces cultivées. Côté production, il est donc crucial de connaître quelles technologies peuvent être utilisées, leur coût, et leur impact sur la productivité. 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.). Côté demande, nos résultats reposent sur des hypothèses de changements

de la consommation face à un changement de prix (ou élasticité prix de la demande) qu'il serait également important de vérifier une fois que plus de données seront disponibles.

Dans le cadre d'un projet pour la Banque Mondiale où le modèle CongoBIOM avait été utilisé pour la première fois, nous avons trouvé qu'une augmentation des rendements agricoles entraînait une augmentation de la déforestation (Mosnier et al., 2012). Le modèle a connu d'importantes modifications depuis lors qui ont conduit à un changement dans les résultats. Compte tenu de l'enjeu de ces politiques d'intensification agricole, nous allons conduire dans les prochains mois, une étude de sensibilité approfondie avec GLOBIOM afin d'identifier sous quelles conditions une augmentation des rendements agricoles entraîne une augmentation de la déforestation dans le Bassin du Congo et sous quelles conditions cela entraîne une réduction de la déforestation.

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 de la RDC, 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, Mbile, & Tchamou, 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 14 millions d'hectares en jachères en 2030 en RDC. 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.

Les plantations agro-industrielles remontent au début du siècle en RDC : les frères Lever, fondateurs de la société Unilever, ont installé leurs premières plantations de palmiers à huile en RDC en 1912. D'autres plantations ont suivi et des grandes unités de transformation ont été installées pendant la période coloniale – des huileries, des unités de décorticage du café, des usines de traitement du caoutchouc, de thé, des rizeries, des savonneries, des minoteries et des brasseries, mais celles-ci ont été progressivement abandonnées dans les années 80-90 (Van Reybrouck, 2012). Le Ministère de l'Agriculture entend relancer la production sur ces sites et encourage les investissements étrangers dans ce sens-là. Dans le cadre du Programme National d'Investissement Agricole (PNIA), 20 parcs agro-industriels sont en projet en RDC. Le Projet Parc agro-industriel de Bukanga-Lonzo, territoire de Kenge de 80,000 hectares a déjà été inauguré en 2014 dans l'ancienne province de Bandundu, actuellement appelé province de Kwilu. Ce parc destiné à la production de maïs, de manioc et de poulets est sous gestion sud-africaine. Au total la surface couverte par ces parcs pourrait couvrir un peu plus d'un million d'hectares à travers 10 provinces de la RDC. Il serait intéressant d'estimer l'impact de ces investissements sur la déforestation, la

biodiversité, la substitution aux importations et la compétition ou non avec les petits agriculteurs dans le futur.

## 11.2 Le contexte socio-économique

Une croissance économique et démographique plus faible entraîne une amélioration de la plupart des 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 pour l'industrie, le développement urbain et l'expansion agricole dans la première phase tandis que le changement de perception des forêts par une population de plus en plus 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.

On peut penser que la RDC se trouve dans la première phase de la transition forestière qui se traduit par un impact négatif de la croissance économique sur le couvert forestier. La croissance du PIB a été en moyenne de 4,8% sur la période 2000-2010 et autour de 7% depuis 2010 (World Development Indicators). L'agriculture a contribué à hauteur de 40% au PIB entre 2006 et 2010 et d'un quart à la croissance du PIB totale (Herderschee, Mukoko Samba, & Tshimenga Tshibangu, 2012). Comme l'agriculture emploie 60% des actifs en RDC, la croissance économique a pu conduire à une augmentation des revenus de la population qui s'est traduite par une augmentation de la consommation alimentaire. Cependant, une particularité du pays est le fait que les minerais représentent 80% des recettes d'exportations du pays tandis que le secteur agricole représente moins de 2,5% des exportations enregistrées. Certains auteurs ont mis en avant le fait que dans ce contexte, l'agriculture est fortement concurrencée par les importations à cause d'un taux de change surévalué (Wunder, 2003). Ainsi, d'après ce principe, plus la croissance économique est tirée par le secteur minier, plus il y a de chance pour que l'augmentation de la consommation alimentaire soit satisfaite par les importations. Dans ce cas, l'impact de la croissance économique sur les forêts serait plus faible que dans nos résultats, hormis la déforestation causée par l'expansion des mines qui n'est pas encore intégrée dans le modèle.

Quant à l'impact des mines sur le couvert forestier, une étude a récemment montré que la proximité des mines avait tendance à augmenter la perte de couvert forestier en RDC (Butsic, Baumann, Shortland, Walker, & Kuemmerle, 2015). Les impacts indirects sur le couvert forestier dus par exemple à l'installation des travailleurs et de leurs familles à proximité des mines, sont souvent supérieurs aux dégâts directs causés par la mine en tant que telle. Afin de prendre en compte ces impacts indirects dans le futur, il serait utile de connaître le nombre de travailleurs sur chaque site minier. Au-delà de l'impact sur le couvert forestier, la pollution de l'eau par l'exploitation minière

est un risque qu'il ne faut pas sous-estimer car les conséquences d'une telle pollution sont désastreuses aussi bien pour les populations que pour les écosystèmes, et peuvent durer après l'arrêt de l'exploitation.

### **11.3 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 et des pays riverains, 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 d'autres marchés qui sont actuellement peu regardant en matière de durabilité.

Pour l'exploitation informelle, nous manquons encore d'informations pour pouvoir correctement la représenter dans le modèle. D'après WRI et le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (WRI/MEDD), de nombreuses exploitations artisanales avaient lieu dans les anciennes provinces du Bandundu et de l'Equateur, à proximité des axes routiers ou fluviaux ([rdc.moabi.org](http://rdc.moabi.org)). Le problème principal pour modéliser l'exploitation informelle est de savoir quel volume de bois est actuellement utilisable et où. En effet, si une exploitation informelle a déjà eu lieu l'année précédente, il faudra probablement attendre plusieurs années avant de pouvoir exploiter de nouveau cette parcelle. La production en équivalent bois-rond des sciages artisanaux est estimée à 3,4 millions de m<sup>3</sup> par an (Lescuyer et al., 2014) ce qui est largement supérieur à la production formelle issue des concessions. Nos estimations d'émissions liées à la dégradation des forêts liées à l'exploitation forestière sont donc largement sous-estimées. D'après un rapide calcul, en faisant l'hypothèse que la dégradation liée à l'exploitation informelle est deux fois plus grande que la dégradation liée à l'exploitation formelle, les émissions totales calculées sur la période 2010-2030 dans le scénario de base augmenteraient d'au moins 7% avec la prise en compte de l'exploitation forestière informelle.

### **11.4 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 des aires protégées pour inclure 17% de la superficie totale 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 des espèces, ou le fait que les aires protégées puissent être développées pour protéger des espèces spécifiques, par exemple des espèces charismatiques particulières.

La connectivité entre les aires et la protection des paysages intacts sont également deux éléments importants de la planification des aires protégées (Worboys et al 2015), et qui ne figurent pas dans les scénarios 'AP+'. Dans les scénarios 'AP+', les zones les plus riches en biodiversité ou avec la plus grande perte en carbone dans le scénario de base ont été sélectionnées pour l'expansion des aires protégées, même si celles-ci faisaient partie d'une cellule isolée. La protection de plus grandes étendues d'habitat naturel peut réduire les pressions liées à la fragmentation et accroître la résilience de ces aires, et un tel scénario pourrait concentrer l'emplacement des aires protégées et donc leur impact sur l'utilisation des terres en comparaison avec les scénarios modélisés. En outre, les zones riches en biodiversité ou en teneur carbone élevée qui sont les plus susceptibles de subir un changement d'utilisation des terres (c'est-à-dire les aires sélectionnées dans les 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 en RDC.

## **12 Conclusion**

Afin de mieux représenter l'évolution de la déforestation future, des émissions associées et des impacts sur la biodiversité en RDC, le modèle GLOBIOM a été amélioré avec une meilleure représentation de l'allocation spatiale des activités sur le territoire pour 2000 et des moteurs de déforestation en RDC. Cependant, nous reconnaissons les limites de ce type d'exercice en l'absence de données plus précises et actualisées notamment pour le secteur agricole qui est la principale cause de déforestation en RDC. Des meilleures statistiques permettraient d'améliorer grandement la précision des résultats de ce type d'exercice de modélisation, dont le but est

d'informer le processus d'élaboration des politiques dans des situations complexes d'arbitrages entre différents objectifs.

Selon des projections modérées, près de 105 millions de personnes devraient vivre en RDC en 2030, dont la moitié dans les villes, et le PIB par tête moyen devrait presque tripler par rapport à 2010. Une population plus nombreuse et plus riche engendre une hausse de la consommation locale de produits agricoles qui risque de se traduire par une augmentation des surfaces cultivées, parfois aux dépens de la forêt. Nos résultats montrent une augmentation de la déforestation annuelle de 374 milliers d'hectares entre 2010 et 2030 à 643 milliers d'hectares entre 2020 et 2030, alors que la RDC augmente également ses importations sur la période 2011-2030 et 20% de l'expansion des terres agricoles a lieu dans d'autres types de végétation que la forêt. La déforestation estimée cause l'émission de 7.2 gigatonnes de CO<sub>2</sub> sur la période 2011-2030 et une perte de plus de 10% de l'aire d'habitat potentiel de 300 espèces, dont 42 espèces menacées. Le modèle prédit une perte d'habitat particulièrement importante pour les grands singes dans l'Est du pays. Outre la perte directe d'habitat, l'expansion des zones agricoles devrait entraîner une augmentation des contacts hommes faunes et par conséquent des risques de braconnage. D'après nos résultats, 60% de la déforestation est provoquée par l'augmentation des surfaces cultivées en manioc et des jachères associées et 15 % par l'expansion du palmier à huile.

La déforestation cumulée entre 2010 et 2030 varie entre 8 et 13 millions d'hectares dans les scénarios testés contre 11 millions d'hectares dans le scénario de base. L'amélioration des rendements agricoles, l'augmentation des aires protégées et une plus faible croissance de la population et du PIB pourraient réduire la déforestation sur la période 2010-2030 tandis que 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. Selon les mesures envisagées pour y parvenir, une augmentation de la productivité agricole pourrait réconcilier les objectifs de sécurité alimentaire, d'atténuation du changement climatique et de conservation de la biodiversité. A l'inverse, la combinaison d'une plus forte croissance économique et d'une plus forte croissance de la population entraîne une détérioration de tous les objectifs. Pour les autres politiques qui sont testées, on observe des arbitrages entre différents objectifs.

Si nos résultats montrent qu'une forte croissance économique pourrait avoir des impacts négatifs sur le couvert forestier à travers une augmentation de la demande pour les produits agricoles, tout dépend en réalité des sources de cette croissance (quel secteur) et des retombées de la croissance économique sur les revenus des ménages. Une plus forte croissance économique peut créer des emplois dans d'autres secteurs d'activité que l'agriculture et permettre d'investir dans le développement et la diffusion de technologies innovantes visant à l'augmentation de la productivité agricole. Les études précédentes ont mis en lumière un rôle ambigu de l'augmentation de la productivité agricole sur la déforestation. Ainsi, bien que nos résultats montrent un impact positif de l'augmentation de la productivité agricole sur le couvert forestier, une analyse

approfondie des conditions dans lesquelles cela a une forte probabilité de se matérialiser, ou au contraire de conduire à une déforestation devra être menée avec le modèle GLOBIOM. Enfin, les résultats de cette étude montrent l'importance d'une gestion effective des aires protégées pour la protection des espèces, et leur contribution à la prévention de l'extinction des espèces qui est un des objectifs internationaux du Plan Stratégique pour la Biodiversité 2011-2020. Alors que les aires protégées existantes manquent de moyens, ces résultats confirment l'importance d'un soutien financier et technique pour une gestion effective des aires protégées. Les aires protégées peuvent également favoriser le développement du tourisme dans le futur.

D'autres sources d'émissions et de séquestration du carbone n'ont pas été prises en compte dans cette étude alors qu'elles pourraient être non négligeables : les émissions liées à la dégradation des forêts à cause de l'exploitation informelle du bois, principalement pour alimenter le marché local, et la régénération naturelle qui a lieu sur les jachères agricoles. La représentation de ces aspects sera améliorée au fur et à mesure que l'information dont on dispose augmente. En attendant, des hypothèses simplifiées pourront être utilisées pour compléter les résultats de cette étude afin de calculer l'ensemble des émissions issues de l'utilisation et de la conversion des terres et de la foresterie (LULUCF en anglais). De nombreuses mesures du stock de carbone dans différents types de végétation de la RDC sont en cours de consolidation et devraient permettre d'améliorer les cartes de biomasse existantes. Cela devrait permettre de réduire l'incertitude liée aux émissions issues de la déforestation historique et future en RDC.

## Références

- Angelsen, A., Jagger, P., Babigumira, R., Belcher, B., Hogarth, N. J., Bauch, S., ... Wunder, S. (2014). Environmental Income and Rural Livelihoods: A Global-Comparative Analysis. *World Development*, 64, Supplement 1, S12–S28. <http://doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.03.006>
- Avitabile, V., Herold, M., Heuvelink, G. B. M., Lewis, S. L., Phillips, O. L., Asner, G. P., ... Willcock, S. (2016). An integrated pan-tropical biomass map using multiple reference datasets. *Global Change Biology*, n/a-n/a. <http://doi.org/10.1111/gcb.13139>
- Baccini, a., Goetz, S. J., Walker, W. S., Laporte, N. T., Sun, M., Sulla-Menashe, D., ... Houghton, R. a. (2012). Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Climate Change*, 2(3), 182–185. <http://doi.org/10.1038/nclimate1354>
- Bayol, N., Anquetil, F., Bile, C., Bollen, A., Bousquet, M., Castadot, B., ... Vautrin, C. (2014). Filière bois d'oeuvre et gestion des forêts naturelles: les bois tropicaux et les forêts d'Afrique centrale face aux évolutions des marchés. In *Les forêts du bassin du Congo – État des Forêts 2013* (de Wasseige C., Flynn J., Louppe D., Hiol Hiol F., Mayaux Ph.). Weyrich, Belgique.
- Butsic, V., Baumann, M., Shortland, A., Walker, S., & Kuemmerle, T. (2015). Conservation and conflict in the Democratic Republic of Congo: The impacts of warfare, mining, and protected areas on deforestation. *Biological Conservation*, 191, 266–273. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.06.037>
- Byerlee, D., Stevenson, J., & Villoria, N. (2014). Does intensification slow crop land expansion or encourage deforestation? *Global Food Security*, 3(2), 92–98. <http://doi.org/10.1016/j.gfs.2014.04.001>

- Defourny, P., Delhage, C., & Kibambe Lubamba, J.-P. (2011). *Analyse quantitative des causes de la déforestation et de la dégradation des forêts en République Démocratique du Congo*. Louvain, Belgique: Earth and Life Institute – Environmental Sciences Université catholique de Louvain.
- Durrieu de Madron, L., 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 et Forêts Des Tropiques*, (308), 75–86.
- Ernst, C., Mayaux, P., Verhegghen, A., Bodart, C., Christophe, M., & Defourny, P. (2013). National forest cover change in Congo Basin: deforestation, reforestation, degradation and regeneration for the years 1990, 2000 and 2005. *Global Change Biology*, 19(4), 1173–1187. <http://doi.org/10.1111/gcb.12092>
- Hansen, M. C., Stehman, S. V., Potapov, P. V., Loveland, T. R., Townshend, J. R. G., DeFries, R. S., ... DiMiceli, C. (2008). Humid tropical forest clearing from 2000 to 2005 quantified by using multitemporal and multiresolution remotely sensed data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(27), 9439–9444. <http://doi.org/10.1073/pnas.0804042105>
- Harris, N. L., Brown, S., Hagen, S. C., Saatchi, S. S., Petrova, S., Salas, W., ... Lotsch, A. (2012). Baseline Map of Carbon Emissions from Deforestation in Tropical Regions. *Science*, 336(6088), 1573–1576. <http://doi.org/10.1126/science.1217962>
- Havlík, P., Schneider, U. A., Schmid, E., Böttcher, H., Fritz, S., Skalský, R., ... Obersteiner, M. (2011). Global land-use implications of first and second generation biofuel targets. *Energy Policy*, 39(10), 5690–5702. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.03.030>
- Havlík, P., Valin, H., Herrero, M., Obersteiner, M., Schmid, E., Rufino, M. C., ... Notenbaert, A. (2014). Climate change mitigation through livestock system transitions. *Proceedings of the*

*National Academy of Sciences*, 111(10), 3709–3714.  
<http://doi.org/10.1073/pnas.1308044111>

Herderschee, J., Mukoko Samba, D., & Tshimenga Tshibangu, M. (2012). *Résilience d'un géant africain, accélérer la croissance et promouvoir l'emploi en République Démocratique du Congo*. Kinshasa, RDC: La Banque Internationale pour la Reconstruction et le Développement / La Banque mondiale.

Herrero, M., Havlík, P., Valin, H., Notenbaert, A., Rufino, M. C., Thornton, P. K., ... Obersteiner, M. (2013). Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(52), 20888–93. <http://doi.org/10.1073/pnas.1308149110>

Hertel, T. W., Ramankutty, N., & Baldos, U. L. C. (2014). Global market integration increases likelihood that a future African Green Revolution could increase crop land use and CO2 emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(38), 13799–13804. <http://doi.org/10.1073/pnas.1403543111>

Ingram, V. (2012). *Governance of nontimber forest products in the Congo Basin* (ETFRN News No. 53).

Kindermann, G. E., McCallum, I., Fritz, S., & Obersteiner, M. (2008). A global forest growing stock, biomass and carbon map based on FAO statistics. *Silva Fennica*, 42(3), 387–396.

Kindermann, G., McCallum, I., Fritz, S., & Obersteiner, M. (2008). A global forest growing stock, biomass and carbon map based on FAO statistics. *Silva Fennica*, 42(3), 387–396.

Lescuyer, G., Cerutti, P. O., Tshimpanga, P., Biloko, F., Adebu-Abdala, B., Tsanga, R., ... Essiane-Mendoula, E. (2014). *Le marché domestique du sciage artisanal en République*

- Démocratique du Congo: Etat des lieux, Opportunités, Défis* (No. Document occasionnel 110). Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Makana, J.-R., & Thomas, S. C. (2006). Impacts of Selective Logging and Agricultural Clearing on Forest Structure, Floristic Composition and Diversity, and Timber Tree Regeneration in the Ituri Forest, Democratic Republic of Congo. *Biodiversity & Conservation*, 15(4), 1375–1397. <http://doi.org/10.1007/s10531-005-5397-6>
- Mather, A. S. (1992). The forest transition. *The Royal Geographical Society*, 24(4), 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 and Management*, 8(1), 10. <http://doi.org/10.1186/1750-0680-8-10>
- Mosnier, A., Havlík, P., Obersteiner, M., Aoki, K., Schmid, E., Fritz, S., ... Leduc, S. (2012). Modeling Impact of Development Trajectories and a Global Agreement on Reducing Emissions from Deforestation on Congo Basin Forests by 2030. *Environmental and Resource Economics*, 1–21. <http://doi.org/10.1007/s10640-012-9618-7>
- Mosnier, A., Havlík, P., Valin, H., Baker, J., Murray, B., Feng, S., ... 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. <http://doi.org/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.). Nairobi and Arendal: United Nations Environment Programme and GRID-Arendal.

- Olson, D. M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E. D., Burgess, N. D., Powell, G. V. N., Underwood, E. C., ... Kassem, K. R. (2001). Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. *BioScience*, 51(11), 933–938. [http://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0933:TEOTWA\]2.0.CO;2](http://doi.org/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., ... Vuuren, D. P. van. (2013). A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 122(3), 387–400. <http://doi.org/10.1007/s10584-013-0905-2>
- Palm, C. A., Woomer, P. L., Alegre, J., Arevalo, L., Castilla, C., Cordeiro, D. G., ... van Noordwijk, M. (2000). *Carbon sequestration and trace gas emissions in slash-and-burn and alternative land-uses in the humid tropics* (ASB Climate Change Working Group No. Final Report, Phase II). Nairobi, Kenya.
- Pirker, J., & Mosnier, A. (2015). *Global oil palm suitability assessment* (Interim Report No. IR-13). IIASA.
- Potapov, P. V., Turubanova, S. A., Hansen, M. C., Adusei, B., Broich, M., Altstatt, A., ... Justice, C. O. (2012). Quantifying forest cover loss in Democratic Republic of the Congo, 2000–2010, with Landsat ETM+ data. *Remote Sensing of Environment*, 122, 106–116. <http://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.027>
- Rudel, T. K., Schneider, L., Uriarte, M., Turner, B. L., DeFries, R., Lawrence, D., ... Grau, R. (2009). Agricultural intensification and changes in cultivated areas, 1970–2005. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(49), 20675–20680. <http://doi.org/10.1073/pnas.0812540106>

- Ruesch, a S., & Gibbs, H. K. (2008). *New IPCC Tier-1 Global Biomass Carbon Map for the Year 2000*. Oak Ridge, USA.
- Russell, D., Mbile, P., & Tchamou, N. (2011). Farm and Forest in Central Africa: Toward an Integrated Rural Development Strategy. *Journal of Sustainable Forestry*, 30(1–2), 111–132. <http://doi.org/10.1080/10549811003757751>
- Saatchi, S. S., Harris, N. L., Brown, S., Lefsky, M., Mitchard, E. T. a, Salas, W., ... Morel, A. (2011). Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(24), 9899–904. <http://doi.org/10.1073/pnas.1019576108>
- Valin, H., Havlik, P., Mosnier, A., & Obersteiner, M. (2010). Climate Change Mitigation And Future Food Consumption Patterns. European Association of Agricultural Economists. Retrieved from <http://ideas.repec.org/p/ags/eaa115/116392.html>
- Valin, H., Sands, R. D., van der Mensbrugge, D., Nelson, G. C., Ahammad, H., Blanc, E., ... Willenbockel, D. (2014). The future of food demand: understanding differences in global economic models. *Agricultural Economics*, 45(1), 51–67. <http://doi.org/10.1111/agec.12089>
- Van Reybrouck, D. (2012). *Congo, une histoire*. Actes Sud.
- van Wijk, M. T., Rufino, M. C., Enahoro, D., Parsons, D., Silvestri, S., Valdivia, R. O., & Herrero, M. (2014). Farm household models to analyse food security in a changing climate: A review. *Global Food Security*, 3(2), 77–84. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.gfs.2014.05.001>
- Vancutsem, C., Pekel, J.-F., Evrard, C., Malaisse, F., & Defourny, P. (2009). Mapping and characterizing the vegetation types of the Democratic Republic of Congo using SPOT

- VEGETATION time series. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(1), 62–76. <http://doi.org/10.1016/j.jag.2008.08.001>
- 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(12), 5061–5079. <http://doi.org/10.5194/bg-9-5061-2012>
- Vinceti, B., Loo, J., Gaisberger, H., Zonneveld, M. J. van, Schueler, S., Konrad, H., ... Geburek, T. (2013). Conservation Priorities for *Prunus africana* Defined with the Aid of Spatial Analysis of Genetic Data and Climatic Variables. *PLOS ONE*, 8(3), e59987. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0059987>
- Wunder, S. (2003). *Quand le Syndrome Néerlandais rencontre la French Connection : Pétrole, Macroéconomie et Forêts au Gabon*. CIFOR.

## Annexes

Amélioration	Mise en œuvre dans CongoBIOM 2010	Mise en œuvre dans GLOBIOM-RDC 2015
<ul style="list-style-type: none"> <li>Localisation spatiale des activités</li> </ul>		<p>Introduction d'une carte hybride de végétation harmonisée avec les utilisations des terres pour 2000 en combinant plusieurs sources d'information.</p> <p>Les résultats du modèle sont présentés au niveau provincial et des cartes de déforestation future sont disponibles.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Représentation de l'agriculture de subsistance</li> </ul>		<p>Introduction des jachères agricoles selon la densité de population et la zone agro-écologique.</p> <p>Introduction de contraintes d'autoconsommation dans les zones rurales en fonction du régime alimentaire par province et de la croissance de la population rurale.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Potentiel d'expansion de la culture de palmiers à huile</li> </ul>		<p>Calcul du potentiel biophysique pour la culture du palmier à huile au niveau 1x1km pour la RDC et les autres régions du monde.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Validation des résultats sur 2000-2010</li> </ul>		<p>Comparaison des résultats de GLOBIOM en termes de déforestation, surfaces cultivées et production par culture avec les observations sur la période 2000-2010.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Emissions issues de la déforestation</li> </ul>		<p>4 cartes de biomasse ont été utilisées systématiquement afin de calculer les émissions issues de la déforestation future en RDC et les incertitudes associées au lieu de montrer seulement les émissions calculées avec les données FAO-FRA désagrégées par Kindermann et al.</p>

		Prise en compte de la biomasse vivante souterraine pour calculer les émissions.
<ul style="list-style-type: none"> <li>Estimation de l'impact sur la biodiversité</li> </ul>		Utilisation de plusieurs indicateurs de la biodiversité pour estimer les conséquences des changements d'utilisation des terres estimés par le modèle au niveau 50x50km sur la biodiversité.
<ul style="list-style-type: none"> <li>Introduction du domaine forestier permanent</li> </ul>	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.
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ajustement des taux de prélèvement dans les forêts gérées</li> </ul>	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,...).
<ul style="list-style-type: none"> <li>Estimation des émissions liées à la dégradation forestière liée à l'exploitation des forêts sous concessions</li> </ul>	Utilisation des facteurs d'émissions de Durrieu de Madron et al. (2010) : 3.41 tCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> pour l'exploitation conventionnelle, 3.05 tCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> pour l'exploitation sous aménagement, 2.97 tCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> pour l'exploitation sous certification.	Pas de changement par rapport à 2010.
<ul style="list-style-type: none"> <li>Spatialisation de la demande en bois de chauffe et la dégradation forestière liée au bois de chauffe</li> </ul>	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. Bois de chauffe peut également venir des jachères agricoles.
<ul style="list-style-type: none"> <li>Transformation du bois</li> </ul>	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.
<ul style="list-style-type: none"> <li>Introduction dans le modèle du café et du cacao pour le Bassin du Congo</li> </ul>	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.

<ul style="list-style-type: none"><li>• Calcul et introduction des couts de transport internes</li></ul>	Collecte des données d'infrastructures de transport courantes et planifiées. Calcul des couts 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 couts de transport sur la base des infrastructures planifiées sont maintenant intégrés dans tous les scenarios y compris le scenario de base.
--	---	--



REDD<sup>pac</sup>

[www.redd-pac.org](http://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)

